



# UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

## TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Aceleración del proceso de diseño y fabricación de moldes de inyección con impresión 3D

Autor/es

ÁLVARO SOMOVILLA RUIZ

Director/es

ALPHA VERÓNICA PERNÍA ESPINOZA

Facultad

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Titulación

Grado en Ingeniería Mecánica

Departamento

INGENIERÍA MECÁNICA

Curso académico

2016-17



***Aceleración del proceso de diseño y fabricación de moldes de inyección con impresión 3D***, de ÁLVARO SOMOVILLA RUIZ

(publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.

Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

© El autor, 2017

© Universidad de La Rioja, 2017

[publicaciones.unirioja.es](http://publicaciones.unirioja.es)

E-mail: [publicaciones@unirioja.es](mailto:publicaciones@unirioja.es)



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica**

**CURSO: 2016/2017**

**CONVOCATORIA: JULIO**

**TÍTULO:**

**ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y  
FABRICACIÓN DE MOLDES DE INYECCIÓN CON  
IMPRESIÓN 3D**

**AUTOR: ÁLVARO SOMOVILLA RUIZ**

**DIRECTOR/ES: ALPHA VERONICA PERNÍA ESPINOZA**

**DEPARTAMENTO: Ingeniería Mecánica**

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## INDICE

INDICE.....	1
RESUMEN .....	6
MEMORIA.....	8
1.    OBJETIVOS .....	8
2.    ESTADO DEL ARTE DEL MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO .....	8
2.1.    PROCESO TRADICIONAL DE DISEÑO Y FABRICACION DE MOLDES .....	9
2.2.    METODOLOGÍA DE ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA (MADMI).....	19
2.3.    CASO DE ESTUDIO .....	20
3.    ESTUDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES APTOS PARA EL PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICOS.....	23
3.1.    RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN EMPRESAS DE INYECCIÓN DE LA RIOJA.....	23
3.2.    MATERIALES PARA EL MOLDE .....	23
3.3.    MATERIALES INYECTABLES.....	27
3.4.    SELECCIÓN DE LOS MATERIALES A INYECTAR EN ESTE ESTUDIO.....	39
4.    APLICACIÓN DE LA MADMI EN IMPRESORAS OPEN SOURCE Y FILAMENTO DE BAJO COSTE .....	39
4.1.    TEST DE TEMPERATURA .....	39
4.2.    MOLDES DE INYECCIÓN IMPRESOS EN ABS++ .....	47
5.    CONCLUSIONES .....	72
ANEXO 1 .....	75
SIMULACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN .....	75
PLANOS.....	83
Plano 1: PLANO MOLDE PRUEBA DE TEMPERATURA DIAMETROS.....	83
Plano 2: PLANO MOLDE PRUEBA DE TEMPERATURA ESPESORES .....	83
Plano 3: PLANO MOLDE MONEDA .....	83
Plano 4: PLANO MOLDE ESTRELLA .....	83
Plano 5: PLANO MOLDE LLAVE.....	83
Plano 6: PLANO MOLDE CUCHARA DOSIFICADORA PARTE INFERIOR .....	83
Plano 7: PLANO MOLDE CUCHARA DOSIFICADORA PARTE SUPERIOR .....	83
Plano 8: PLANO MOLDE PIÑÓN PARTE SUPERIOR .....	83
Plano 9: PLANO MOLDE PIÑÓN PARTE INFERIOR .....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	84

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

Ilustración 1. Bebederos: (a) Balanceados (b) no balanceados .....	11
Ilustración 2. Compuertas .....	12
Ilustración 3. Canales de colada .....	13
Ilustración 4. Molde de tres placas. (a) Molde cerrado (b) Molde abierto.....	13
Ilustración 5. Molde con canales de colada calentados.....	14
Ilustración 6. Canales de colada aislados y distribuidos .....	15
Ilustración 7. Mecanizado por electroerosión .....	17
Ilustración 8. Electroerosión por penetración .....	18
Ilustración 9. Electroerosión por hilo .....	18
Ilustración 10. Pieza 1 .....	21
Ilustración 11. Pieza 2 .....	21
Ilustración 12. Calor específico vs Temperatura Polipropileno .....	28
Ilustración 13. Calor específico vs Temperatura TPE .....	32
Ilustración 14. Calor específico vs Temperatura TPO .....	34
Ilustración 15. Calor específico vs Temperatura EVA.....	36
Ilustración 16. Calor específico vs Temperatura PLA .....	37
Ilustración 17. Conductividad térmica vs Temperatura PLA .....	38
Ilustración 18. Probetas diámetro.....	40
Ilustración 19. Probetas espesor.....	40
Ilustración 20. Pantallazo CURA BCN3D.....	41
Ilustración 21. Impresión del molde .....	41
Ilustración 22. Probetas impresas .....	42
Ilustración 23. Warping .....	42
Ilustración 24. Acetona .....	43
Ilustración 25. Puliendo la probeta con acetona .....	43
Ilustración 26. Probeta pulida .....	44
Ilustración 27. PLA triturado .....	44
Ilustración 28. Horno.....	45
Ilustración 29. PLA fundido .....	45
Ilustración 30. PLA vertido en la probeta.....	46
Ilustración 31. Detalle probeta diámetros .....	46
Ilustración 32. Detalle probeta espesores .....	47
Ilustración 33. Confianza de llenado moneda.....	47
Ilustración 34. Atrapamientos de aire moneda .....	48
Ilustración 35. Molde moneda .....	48
Ilustración 36. ULTIMAKER 2+.....	49
Ilustración 37. Pantallazo CURA BCN3D.....	49
Ilustración 38. Molde moneda .....	50
Ilustración 39. Molde moneda en el tornillo de banco .....	50
Ilustración 40. PLA reciclado y triturado .....	51
Ilustración 41. PLA dentro del cilindro calefactado .....	51
Ilustración 42. Molde moneda abierto .....	52

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

Ilustración 43. Moneda .....	52
Ilustración 44. Detalle moneda .....	53
Ilustración 45. Defecto en la moneda .....	53
Ilustración 46. Moneda prueba 2 .....	53
Ilustración 47. Detalle moneda prueba 2.....	54
Ilustración 48. Molde estrella .....	55
Ilustración 49. Molde estrella impreso .....	56
Ilustración 50. Molde estrella en el tornillo de banco .....	56
Ilustración 51. Estrella desmoldada .....	57
Ilustración 52. Estrella tras el postprocesado .....	57
Ilustración 53. Molde llave .....	58
Ilustración 54. Molde llave impreso.....	58
Ilustración 55. Molde en el tornillo de banco .....	59
Ilustración 56. LLave tras el postprocesado .....	59
Ilustración 57. Molde tras la inyección .....	60
Ilustración 58. Molde tras la inyección 2 .....	60
Ilustración 59. Idoneidad de las entradas .....	61
Ilustración 60. Confianza de llenado cuchara .....	61
Ilustración 61. Molde cuchara parte inferior .....	62
Ilustración 62. Molde cuchara parte superior.....	62
Ilustración 63. Molde cuchara impreso.....	63
Ilustración 64. Molde de la cuchara en el tornillo de banco.....	63
Ilustración 65. Resultado inyeccion 1.....	64
Ilustración 66. Resultado de la inyección 2 .....	64
Ilustración 67. Idoneidad de las entradas .....	65
Ilustración 68. Análisis de llenado .....	65
Ilustración 69. Atrapamientos de aire piñón .....	65
Ilustración 70. Molde piñón .....	66
Ilustración 71. Molde piñón impreso .....	66
Ilustración 72. Visualizador de la temperatura .....	67
Ilustración 73. Molde piñón en el momento de la inyección.....	68
Ilustración 74. Molde piñón abierto.....	68
Ilustración 75. Pieza fuera del molde.....	69
Ilustración 76. Pieza tras el postprocesado.....	69
Ilustración 77. 1 Defecto cuarta inyección.....	70
Ilustración 78. 2 Defecto cuarta inyección.....	71
Ilustración 79. Defecto séptima inyección .....	71
Ilustración 80.....	75
Ilustración 81.....	75
Ilustración 82.....	76
Ilustración 83.....	76
Ilustración 84.....	77
Ilustración 85.....	77
Ilustración 86.....	78
Ilustración 87.....	78
Ilustración 88.....	79

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

Ilustración 89.....	79
Ilustración 90.....	80
Ilustración 91.....	80

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## RESUMEN

Este trabajo pretende demostrar cómo por medio de la manufactura aditiva empleando impresoras open source de bajo coste y filamento de impresión asequible para cualquier usuario, es posible acelerar el proceso de diseño y fabricación de moldes de inyección de plásticos. Esta metodología presenta ventajas importantes como el ahorro de tiempo y dinero en la fabricación de moldes prototipo, que son probados y mejorados hasta llegar a un diseño final, que si será construido en metal.

En primer lugar se ha recopilado información sobre el proceso tradicional de diseño y fabricación de moldes y los tipos de moldes que se están fabricando actualmente mediante mecanizado estándar o mecanizado por descarga eléctrica (EDM) tanto por penetración como por hilo. Seguidamente se realizó un estudio del estado del arte de ésta metodología. Se recopiló información de empresas que ya están aplicando la manufactura aditiva para el diseño y la fabricación de moldes de inyección. Principalmente se ha estudiado la colaboración entre *Stratasys*, empresa con más de 25 años de experiencia en el sector de la impresión 3D y *Grundfos*, empresa internacional dedicada a la fabricación de bombas hidráulicas. Éstas empresas aplican la metodología utilizando impresoras comerciales, de elevado coste y con tecnología propia, además de materiales específicos bastante costosos. También se consultaron expertos en dos importantes empresas del sector del moldeo por inyección de la Comunidad de La Rioja: 'Zeplas' y 'Manufacturas Maher'.

Con la información recabada y aún con la incertidumbre de poder aplicar la metodología empleando impresoras open source y filamento de bajo coste, se realiza un análisis de los recursos disponibles. Este proyecto se desarrolló en el Área UR-Maker de la Universidad de La Rioja. Tras el análisis se determina que los moldes se van a imprimir en ABS++ (acrilonitrilo butadieno estireno) de la empresa FFF world, líder a nivel mundial de fabricación de filamento de calidad y colaboradora del UR-Maker, y que los materiales a inyectar en los moldes serán PLA (ácido poliláctico) reciclado y triturado y PP (polipropileno) de inyección (ambos de baja temperatura de fusión y baja densidad). La incertidumbre al inicio del proyecto residía en que las especificaciones técnicas del ABS++ establecían como temperatura de deflexión térmica un valor de 88°C (usual para cualquier ABS) y que el PLA y el PP fundían a 190°C. Por lo tanto, se realizaron simulaciones numéricas y ensayos experimentales previos a la fabricación del molde con este material. Se demostró que el PLA al entrar en contacto con la superficie de la pieza de ABS sufría un enfriamiento drástico y por lo tanto no afectaba su integridad. Esto permitió seguir adelante con el proyecto.

Se diseñaron, fabricaron e inyectaron moldes de diferentes geometrías y complejidades tales como una moneda, una estrella, una llave, una cuchara dosificadora y un piñón. Además también se realizó un estudio de la durabilidad de un molde de ABS++.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

This work tries to demonstrate how by means of the additive manufacture using open source low cost printers and filament accessible for any user, it is possible to accelerate the process of injection mould design and manufacture. This methodology presents important advantages like the saving of time and money in the manufacture mould prototypes, which are proved and improved up until reaching the final design, which is the one to be constructed in metal.

First of all, it has been compiled information about the traditional process of design and manufacture of moulds and the types of moulds that are been made at present by standard machining or electrical discharge machining (EDM) both for penetration and for thread. Next, it has been realized a study about the state of art of traditional machining. It has been compiled information of companies that are already applying the additive manufacture for the design and the manufacture of injection moulds. Firstly it has been considered the cooperation between Stratasys, company with over 25 years of experience in the sector of 3D printers and Grundfos, international company dedicated to the manufacture of hydraulic bombs. These companies apply the methodology using commercial printers which are very expensive and their own technology, in addition specific materials are too much expensive. Also experts in this sector were consulted. We were to important companies of injection moulding in La Rioja like 'Zeplas' and 'Maher'.

With the information obtained and the suspense to apply the methodology using open source printers and low cost filaments, it is realized an analysis of the available resources. This project were developed in the UR-Maker Area of the University of La Rioja. After the analysis it is determined that the moulds will be print in ABS ++ (acrylonitrile butadiene styrene) of FFF world, leader on a global scale of manufacture of quality filament and collaborator of the UR-Maker, and the materials will be injected in the moulds will be recycling and crushed PLA (polylactic acid) and injection PP (polypropylene) (both have low melting temperature and low density). The suspense to the beginning of the project were that the technical specifications of the ABS ++ establish the thermal deflection temperature a value of 88°C (usual for any ABS) and PLA and PP were melting to 190°C. Therefore, numerical simulations and experimental essays were realized before to manufacture the mould with this material. It was demonstrated that PLA, in contact with the surface of ABS piece, suffer a drastic cooling and therefore it was not affecting its integrity. This allowed to go forward with the project.

It were designed, made and injected moulds of different geometries and complexities like a coin, a star, a key, a dispenser spoon and a gear. Also it was realized a study of the durability of an ABS ++ mould.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## MEMORIA

### 1. OBJETIVOS

- Estudio del estado del arte del moldeo por inyección de plástico y la metodología de aceleración del diseño de moldes empleando la manufactura aditiva (MADMI)
- Selección de materiales para los moldes y para la inyección basándose en los recursos disponibles, la información recabada en el objetivo anterior y en la simulación numérica empleando el software específico Autodesk MoldFlow Adviser® (gratuito por 3 años para estudiantes).
- Diseñar moldes de inyección con geometrías de complejidad ascendente y verificar su correcto llenado por medio del MoldFlow.
- Fabricar los moldes diseñados empleando las impresoras 3D open source disponibles en el UR-Maker.
- Realizar el proceso de inyección de los moldes fabricados con los materiales seleccionados en la máquina inyectora vertical desarrollada en el TFG de D. Emilio Rodríguez San Millán
- Verificar que por medio de la manufactura aditiva, empleando impresoras open source de bajo coste y filamento de impresión asequible para cualquier usuario, es posible aplicar la metodología(MADMI).
- Estudiar la durabilidad de un molde fabricado en ABS++.

### 2. ESTADO DEL ARTE DEL MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO

El moldeo por inyección de plástico es una de las técnicas más comunes en el procesado de plásticos, ésta se basa en que el material plástico fundido se “vuelca” en un molde de acero o aluminio generalmente utilizando un husillo, un pistón o una bomba de inyección. La mayoría de los objetos plásticos utilizados diariamente están realizados con esta técnica, tales como botellas, cajas de plástico o juguetes. La causa de que este proceso sea uno de los más utilizados es que en un solo paso es posible recorrer el camino entre materia prima y producto terminado.

Esta técnica permite realizar geometrías de diferente dificultad, ya que los moldes donde el plástico va a ser inyectado pueden ir desde tener formas muy simples a formas muy complejas. En el proceso de inyección de plástico se requieren temperaturas y presiones muy elevadas, pero se obtiene gran precisión en el trabajo realizado si este ha sido ejecutado de manera correcta. Pese a la gran precisión obtenida en las piezas fabricadas en algunas ocasiones, la mayoría, es necesario realizar sobre ellas un postproceso que consiste en eliminación de rebabas causadas por el molde o eliminación de material sobrante pero necesario para llevar a cabo la inyección, como puede ser el canal de flujo por donde es inyectado el material plástico.

El objeto del moldeo por inyección es introducir el material plástico fundido dentro de un molde, donde se enfría y tome la forma deseada. Por lo tanto una máquina de inyección de plástico estará formada por dos grupos principales:

- Unidad de inyección de material plástico fundido
- Molde

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## 2.1. PROCESO TRADICIONAL DE DISEÑO Y FABRICACION DE MOLDES

Teniendo en cuenta el elevado coste de este tipo de equipos es importante que desde la fase de diseño se piense tanto en la geometría correcta de los moldes como en el número de piezas a producir por unidad de tiempo.

Elegir una geometría correcta de los moldes tiene una doble función. Ya que garantiza no tener que realizar sobre la pieza final un postproceso, lo que alargaría y encarecería dicho proceso de moldeo, y además, conseguir el óptimo espesor para facilitar el enfriamiento de la pieza dentro del molde.

El molde consta de dos partes o placas que dan forma a la cavidad que será rellenada por el material plástico para obtener el objeto deseado. Cada placa constituye una mitad de dicha forma y siempre se montan de la misma manera, siendo la mitad izquierda fija y la mitad derecha móvil, ya que estas han de ser separadas a la hora de obtener el objeto fabricado.

El hecho de componer el molde en dos mitades puede ocasionar una fina capa de plástico en la separación entre ambas denominada *flash*, para evitar este problema es necesario que el mecanizado de dichas partes sea de alto nivel.

### 2.1.1. PARTES DEL MOLDE

#### 2.1.1.1. PLACAS DE APOYO

Su función es la de integrar el molde dentro de la estructura.

#### 2.1.1.2. CANALES DE ENFRIAMIENTO

A través de estos canales circula el agua de enfriamiento. La temperatura del agua varía según los diferentes procesos, dependiendo del material plástico utilizado y el acabado requerido. Estos canales están calculados para controlar la temperatura del molde entre 20 y 100 °C.

#### 2.1.1.3. PERNOS DE EXPULSIÓN

Su función es la de separar la parte fija del molde, parte izquierda, de la parte móvil, parte derecha. Esto se lleva a cabo mecánicamente mediante un tornillo de resalto. Otra función de los pernos de expulsión es la de evacuar el aire que existe dentro del molde cuando en este se ha introducido el material plástico fundido, esta evacuación tiene lugar gracias al espacio libre existente en dichos pernos, aunque en ocasiones este espacio es inexistente, por lo tanto es necesario realizar pequeños agujeros de 0,025 mm. Este diámetro es el adecuado para permitir la expulsión del aire sin que entre material plástico fundido en ellos. Una mala ventilación del molde provoca fallos en el acabado final de la pieza, siendo la situación más crítica cuando dentro se forman burbujas de aire, ya que provocarían una deformación en el producto final, otra situación que puede darse es que la evacuación del aire sea demasiado rápida y que provoque una excesiva subida de temperatura, lo que ocasionará un quemado parcial de la pieza.

#### 2.1.1.4. PERNOS GUIA

La exactitud en la unión de las dos partes del molde es fundamental y la función de estos pernos es que se cumpla dicha exactitud en la alineación de las dos partes del molde.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## 2.1.1.5. ANILLO DE LOCALIZACIÓN

Asegura la correcta alineación de la cavidad de entrada del material fundido en el molde con la boquilla, canal de salida, de la máquina de inyección.

## 2.1.1.6. BEBEDERO (SPRUE BUSH)

Es el canal que une la boquilla de la máquina de inyección con el interior del molde. Se localiza en la parte fija del molde e incorpora una clavija de sujeción que “corta” el plástico para que cuando sea desmoldado, el plástico solidificado en el interior de este canal salga más fácilmente. Esta pieza sufre mucho desgaste y se reemplaza con asiduidad, por lo que su reemplazo se hace de una manera muy simple.

## 2.1.1.7. ORIFICIO PARA LA INYECCION DEL MATERIAL O COMPUERTA (GATE)

Es el orificio de entrada del material plástico a la cavidad del molde. La compuerta sirve para separar la zona de impresión de los canales de colada. Esta parte es la primera en enfriar, por lo que evita que al retirar el tornillo de la máquina de inyección el material del interior del molde sea succionado hacia afuera.

Este orificio es muy estrecho y se debe a 3 funciones:

- Permitir una solidificación rápida como ya se ha explicado.
- Separar fácilmente la espiga de la pieza moldeada
- Aumentar la velocidad de corte y disminuir la viscosidad, permitiendo un llenado más rápido y de formas más complejas.

Dependiendo de la aplicación que se requiera, se utilizan diferentes tipos de compuerta, tales como:

- Compuertas de canal de alimentación  
La alimentación desde el canal a una sola cavidad es directa
- Compuertas de aguja  
Se llenan desde los bebederos. Se utilizan comúnmente en los moldes de tres placas y generan una pequeña cicatriz en la pieza final fácil de borrar. Debido a que son muy estrechas proporcionan una velocidad de corte alta y baja viscosidad en el material inyectado, lo que permite el llenado de las partes estrechas o complejas del molde.
- Compuertas laterales  
Este tipo de compuertas se utilizan generalmente en los moldes de multiimpresión y alimentan desde las partes laterales del molde.

Estos moldes de multiimpresión necesitan utilizar “bebederos balanceados” para satisfacer cada una de las cavidades de impresión con las mismas condiciones de presión y por lo tanto de flujo. No utilizar “bebederos balanceados” puede dar lugar a piezas desiguales. A continuación se muestra una distribución de “bebederos balanceados” y otra de “bebederos no balanceados”.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

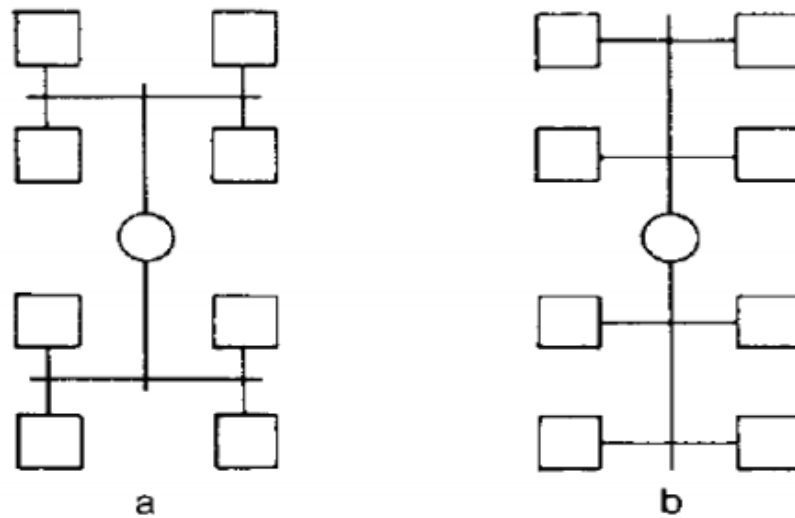


Ilustración 1. Bebederos: (a) Balanceados (b) no balanceados

Fuente:

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf>

[Fecha de Consulta: 30/11/2016]

- Compuertas anulares  
Son utilizadas comúnmente en moldes de impresión múltiple para producir piezas huecas, ya que distribuyen el material plástico fundido alrededor de un núcleo central.
- Diafragma  
Igual que la compuerta anular pero se surte directamente desde el canal de alimentación.
- Compuertas de abanico  
Utilizadas para imprimir en áreas planas y grandes, ya que surten el material plástico en forma de abanico.
- Compuertas de película  
Son utilizadas en piezas planas delgadas, donde no se desea la formación de ondulaciones.
- Compuertas de lengüeta  
La lengüeta evita que en piezas planas delgadas se rompa el flujo, lo que provocaría líneas de flujo de mal aspecto.

En la siguiente imagen se muestran cada una de las compuertas descritas anteriormente.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

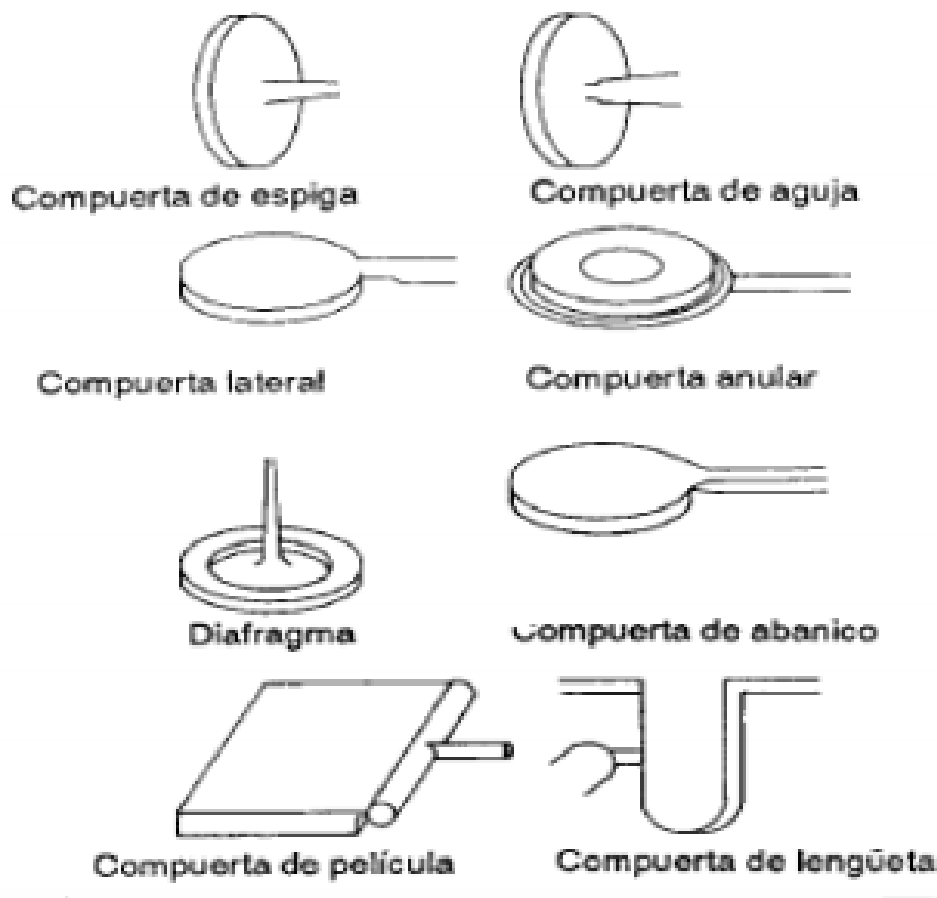


Ilustración 2. Compuertas

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf> [Fecha de Consulta: 30/11/2016]

### 2.1.1.8. CANALES DE COLADA O ALIMENTACIÓN (RUNNERS)

Los canales de colada o alimentación conectan el bebedero (sprue bush) con la entrada a la cavidad del molde (gate), por estos canales fluye el material plástico fundido y son utilizados en moldes de impresión múltiple. Estos elementos del molde deben de tener una geometría que se ajuste a una gran sección transversal que garantice el flujo del material fundido pero muy poca área superficial para evitar el enfriamiento antes de llegar al molde, por lo tanto también deberán de ser lo más cortos posible. En la siguiente figura se muestran las diferentes geometrías que puede tener un canal de colada o alimentación atendiendo a las especificaciones anteriormente descritas.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

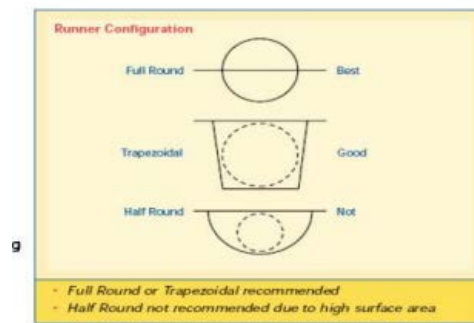


Ilustración 3. Canales de colada

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf> [Fecha de Consulta: 30/11/2016]

## 2.1.2. OTROS TIPOS DE MOLDE

### 2.1.2.1. MOLDE DE TRES PLACAS

Este tipo de moldes se utilizan cuando se desea tener diferentes planos para la unión de placas del molde y para el sistema de coladas, como por ejemplo en moldes múltiples, en los cuales se desea tener un canal de colada central que suministre a las diferentes cavidades.

La compuerta es separada automáticamente y el sistema de canales y bebederos son expulsados por separado.

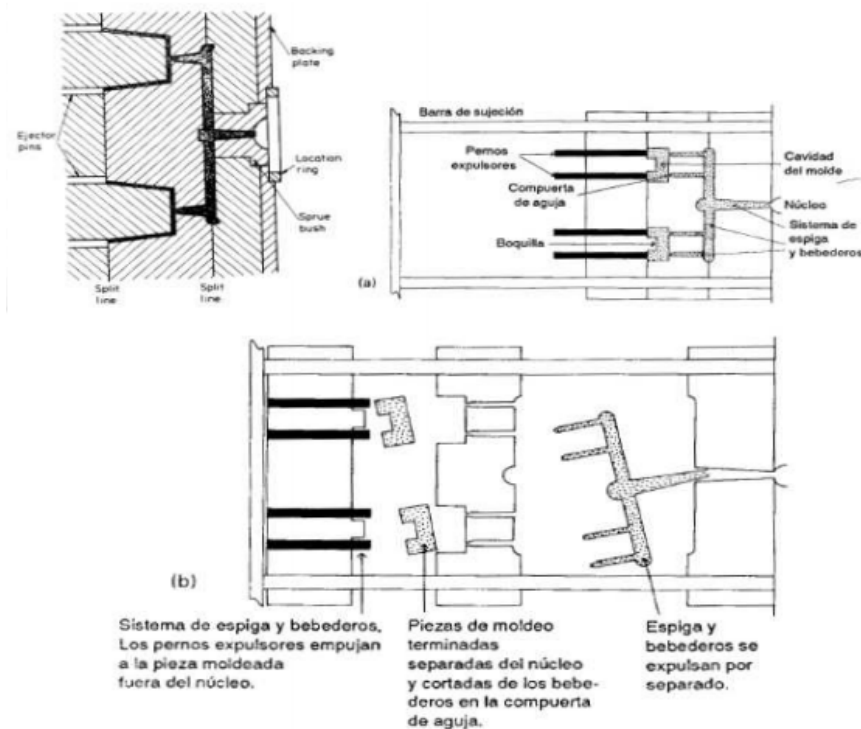


Ilustración 4. Molde de tres placas. (a) Molde cerrado (b) Molde abierto

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf> [Fecha de Consulta: 30/11/2016]



# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 2.1.2.2. MOLDE CON CANALES DE COLADA CALENTADOS

Este tipo de molde es una evolución del molde de tres placas y está desarrollado para evitar que el bebedero y los canales de colada sean moldeados, ya que esto genera desperdicio de material plástico con su respectivo coste. De esta forma, en el molde se encuentran zonas de calentamiento y aislamiento que mantendrán el material plástico fundido a la temperatura de inyección en los canales de colada, este material no es solidificado y se introduce en la cavidad en la siguiente partida de piezas. En caso de fallo, los canales solidificarán y el molde deberá ser desmontado para volver a dejar libres los canales de colada y proseguir con su funcionamiento normal.

### VENTAJAS

- Eliminación de recortes
- Ciclos de moldeo más rápidos

### DESVENTAJAS

- Fabricación más compleja y por lo tanto más cara
- Dificultad en el cambio de material plástico fundido, ya que es muy difícil eliminar completamente el material anterior

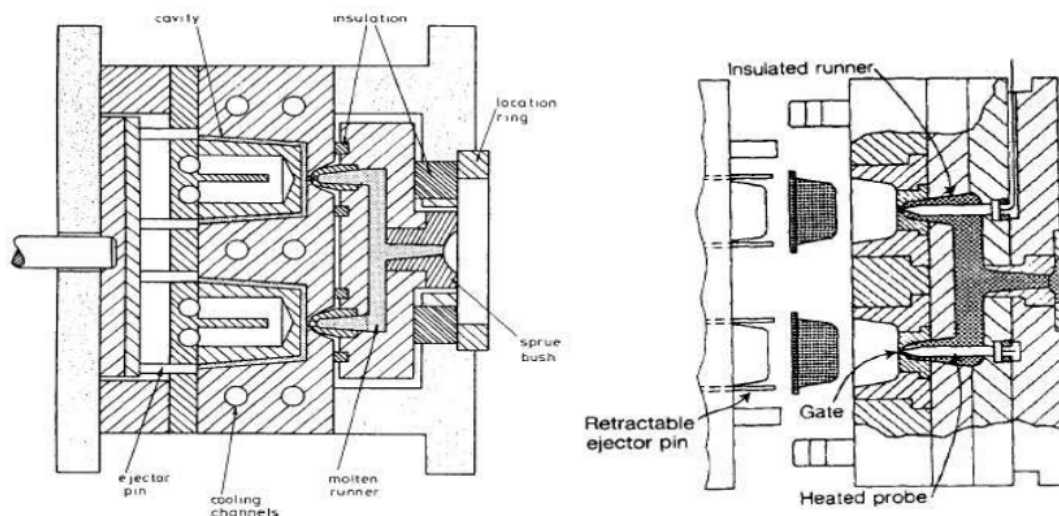


Ilustración 5. Molde con canales de colada calentados

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf> [Fecha de Consulta: 30/11/2016]

## 2.1.2.3. MOLDE CON CANALES DE COLADA ENFRIADOS

Este tipo de molde es similar al molde con canales de colada calentados, la diferencia radica en que se utilizan canales de colada de un diámetro mayor (13-25mm). La razón de utilizar un diámetro de canal tan grande es formar una película de material solidificado en la superficie interior del canal que sirva como aislamiento al núcleo central del flujo de material plástico permitiendo que este permanezca fundido durante todo el proceso y los diferentes ciclos de moldeo que se realicen. En caso de fallo y que se solidifique todo el interior del canal de colada, se procede a desmontarlo y la retirada del material fundido, una vez que se vuelva a

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

iniciar el proceso de moldeo se formará una nueva capa aislante en el interior de la superficie del canal de colada.

Este tipo de molde no es recomendable utilizarlo cuando se inyectan polímeros o pigmentos que tengan una baja estabilidad térmica o una viscosidad elevada, ya que una parte del flujo del material puede quedar en estado semi-fundido dentro del canal durante largos periodos de tiempo.

Una evolución de este tipo de molde que elimina la posibilidad de que se solidifique el material dentro del canal es el sistema de distribución de tubos. Este sistema incorpora tubos calentados en los canales de colada. Aun así, tampoco es recomendable para materiales con baja estabilidad térmica ya que sigue manteniendo una capa aislante en la superficie interior del canal.

Tanto el molde con canales de colada enfriados como su evolución, el sistema de distribución de tubos, cuentan con un calentador en la compuerta del molde para prevenir la solidificación del material.

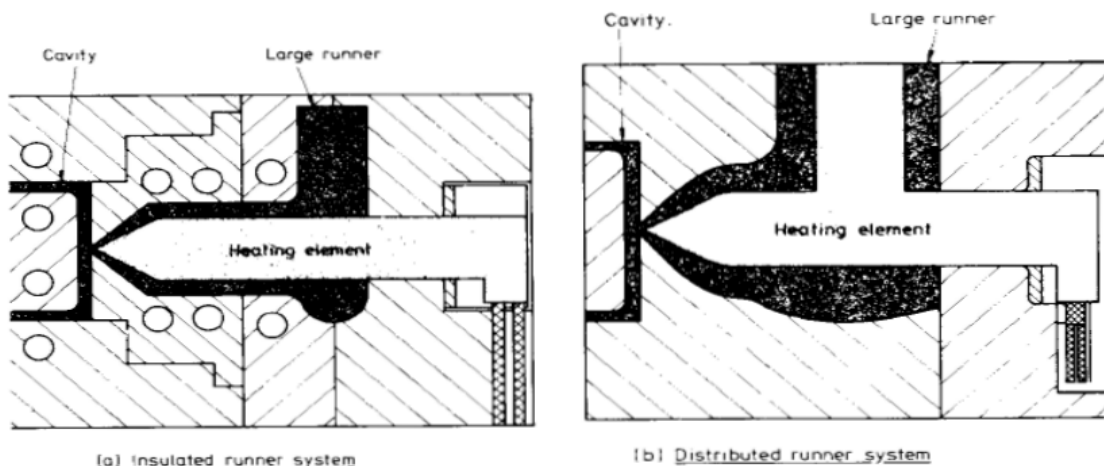


Ilustración 6. Canales de colada aislados y distribuidos

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf> [Fecha de Consulta: 30/11/2016]

### 2.1.3. FABRICACIÓN TRADICIONAL DE MOLDES

Tradicionalmente los moldes han sido fabricados en acero, ya que sus especificaciones eran óptimas para la fabricación de moldes. El acero es un material extremadamente duro y muy resistente al desgaste y la corrosión, además de ser fácil de mecanizar es un material estable dimensionalmente y con buena conductibilidad térmica para evacuar el calor.

La mecanización del acero es laboriosa pero nos proporciona moldes muy duraderos para inyectar grandes series de piezas plásticas, ya que los termoplásticos que serán inyectados en su interior son altamente abrasivos.

Aún así en los últimos años gracias a los avances tecnológicos se están desarrollando moldes compuestos por aleaciones de aluminio, ya que estas son mucho más fáciles de mecanizar que el acero. Aunque su durabilidad es menor, debido a la abrasión ya mencionada de los

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

termoplásticos que serán inyectados. Para fabricar series cortas de piezas plásticas, cada vez están siendo más utilizadas por los fabricantes.

Una buena aleación de aluminio conserva la facilidad de mecanizado, ligereza y elevada conductividad térmica y añaden dureza y durabilidad comparable a la de los mejores aceros.

Como ya se ha mencionado la fabricación tradicional de moldes se lleva a cabo mediante el mecanizado, existen dos métodos: el mecanizado estándar y el EDM.

El mecanizado es un proceso de fabricación o un conjunto de operaciones donde se forman piezas a través de la separación de material. A partir de productos semi-elaborados, como tochos o lingotes, se realiza la remoción de material.

## 2.1.3.1. MECANIZADO ESTANDAR

Tradicionalmente ha sido el método más utilizado. EL mecanizado CNC (Control Numérico Computarizado) se convirtió en el más utilizado al ser rápido y permitir moldes complejos y con detalles precisos.

El (CNC) ha ampliado exponencialmente las aplicaciones de las maquinas industriales mediante la automatización programable de la producción y el logro de movimientos imposibles de efectuar manualmente, como círculos, líneas diagonales y otras figuras más complicadas que posibilitan la fabricación de piezas con perfiles sumamente complejos. Esto también se traduce en la optimización de muchas variables esenciales de todo proceso de manufactura: productividad, precisión, seguridad, rapidez, repetitividad, flexibilidad y reducción de desechos.

En la actualidad el uso de programas *CAD* (diseño asistido por computadora) y *CAM* (fabricación asistida por computadora) es un complemento casi obligado de toda máquina CNC, por lo que, generalmente, la manufactura de una pieza implica la combinación de tres tipos de software:

- CAD: realiza el diseño de la pieza
- CAM: calcula los desplazamientos de los ejes para el maquinado de la pieza y agrega las velocidades de avance, velocidades de giros y diferentes herramientas de corte.
- Software de control (incluido con la máquina): recibe las instrucciones del CAM y ejecuta las órdenes de desplazamiento de las partes móviles de la fresadora de acuerdo con dichas instrucciones.

El funcionamiento de una maquina CNC se basa en un controlador que recibe las ordenes de la computadora en forma de códigos G y códigos M y que mediante su propio software convierte esas instrucciones en señales eléctricas destinadas a activar los motores que pondrán en marcha el sistema de accionamiento.

Una maquina CNC es capaz de controlar dos o más direcciones de movimientos llamadas ejes. Un eje de movimiento puede ser lineal (línea recta) o rotatorio (en una trayectoria circular). Una de las primeras especificaciones que implica la complejidad de una maquina CNC es la cantidad de ejes que tiene. A mayor cantidad de ejes, mayor complejidad. Pero no solo basta con controlar el movimiento, también es necesario controlar otro tipo de especificaciones tales como:

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

- Cambio automático de herramienta
- Velocidad y activación del husillo
- Refrigeración

### 2.1.3.2. MECANIZADO POR DESCARGA ELECTRICA (EDM)

Es muy utilizado y permite la mecanización de moldes con geometrías difíciles de realizar con un mecanizado tradicional o con altas exigencias de precisión. Este proceso permite moldes pre-endurecidos de modo que en su diseño no se requiere ningún tratamiento térmico.

Esta técnica está basada en la generación de intensas y rápidas descargas eléctricas, generadas con gran precisión entre una pieza de material conductor y un electrodo en un medio dieléctrico fluido.

A continuación se muestra una imagen explicativa de cómo se lleva a cabo el proceso.

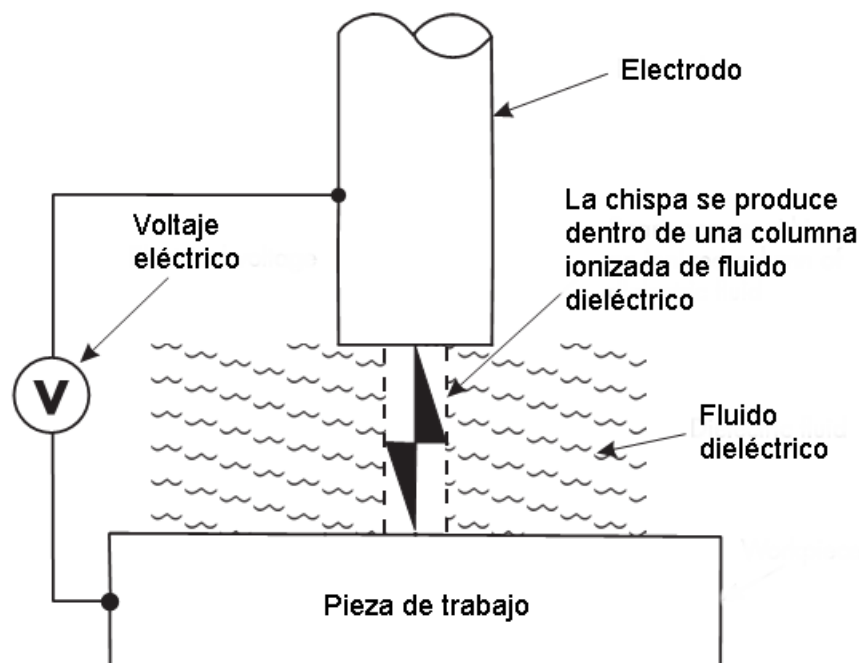


Ilustración 7. Mecanizado por electroerosión

Fuente: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/tipos-de-mecanizado-por-electroerosion>

Cada descarga genera una burbuja de gas cuya presión se incrementa hasta formar una zona de plasma que rápidamente alcanza temperaturas entre los 8000 y 12000 grados centígrados. Esto ocasiona que una cierta cantidad del material en la superficie de ambos conductores se funda instantáneamente. Cuando la corriente eléctrica es retirada, la repentina reducción de temperatura ocasiona que la burbuja se colapse arrancando el material fundido de la superficie de trabajo y dejando un minúsculo cráter. El material erosionado se resolidifica en el dieléctrico en forma de pequeñas esferas y es removido por el dieléctrico. Los pulsos eléctricos se producen a frecuencias que van de miles a millones de chispas por segundo hasta producir la forma deseada.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

Existen 4 variantes de mecanizado EDM, siendo los principales el proceso EDM de corte por penetración (*Die-Sinking EDM*) y el proceso EDM de corte por hilo (*Wire EDM*).

## 2.1.3.2.1. EDM por penetración

Se utiliza un electrodo con la “forma invertida” de la pieza que se quiere fabricar. El electrodo es construido en grafito o en cobre, aportando más durabilidad el grafito. Esta técnica se utiliza principalmente para generar hoyos redondos y profundos con la función de preparar el agujero inicial para un EDM por hilo.

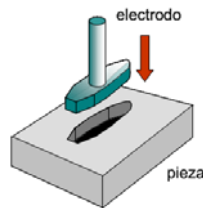


Ilustración 8. Electroerosión por penetración

Fuente: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/tipos-de-mecanizado-por-electroerosion>

## 2.1.3.2.2. EDM por hilo

Consiste en un hilo conductor muy delgado que circula constantemente a través de la pieza desde una bobina, en forma parecida a una sierra de banda. Este hilo sustituye al electrodo usado en el desgaste por penetración. Es llevado a cabo generalmente en un baño de agua ionizada. La trayectoria del hilo se controla con un ordenador, lo que permite generar formas más complejas, es decir el hilo está controlado por CNC. Este hilo suele ser de latón o zinc o incluso pueden ser de tungsteno ya que se consiguen diámetros menores. Los diámetros oscilan entre los 0,05mm y los 0,33 mm para los hilos de latón o zinc y los de tungsteno llegan a tener un grosor de 0,025mm. El principio de funcionamiento es el mismo que en el EDM por penetración, ya que emplea una serie de descargas de corriente continua que forman chispas entre el hilo y la pieza de trabajo, ambos en contacto con el fluido dieléctrico.

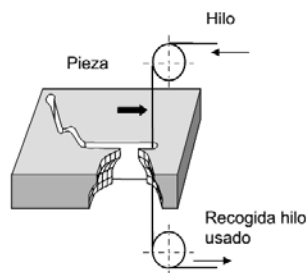


Ilustración 9. Electroerosión por hilo

Fuente: <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/tipos-de-mecanizado-por-electroerosion>

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 2.2. METODOLOGÍA DE ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA (MADMI)

El diseño de moldes para la inyección de plástico es un proceso complicado, generalmente iterativo y costoso en tiempo y dinero. Sin embargo, gracias a los avances en el prototipado rápido ha sido posible una metodología basada en la impresión 3D que permite acelerar este proceso y reducir costes. La idea central consiste en fabricar en una impresora 3D el prototipo del molde en un material capaz de soportar unas cuantas inyecciones. De esta manera es posible obtener, en poco tiempo, feedback sobre la pieza que se desea finalmente inyectar y lo adecuado del molde. Esta metodología ahorraría muchísimo tiempo y dinero, ya que los prototipos de los moldes serían impresos en plástico y no mecanizados en metal como se suelen hacer tradicionalmente. Una vez confirmado el diseño final, el molde se fabricara en metal con todas las garantías de éxito. Sin embargo, y como se verá más adelante, actualmente esta metodología (que hemos llamado MADMI) se aplica con éxito empleando impresoras comerciales, de elevado coste y con tecnología propia, además de materiales específicos bastante costosos.

### 2.2.1. ESTADO DEL ARTE DE LA MADMI

La principal empresa que está trabajando con este sistema de prototipado de moldes es Stratasys®, una empresa con más de 25 años de experiencia en el sector de la impresión 3D.

Stratasys® en colaboración con otras empresas dedicadas a la fabricación de piezas o productos terminados a través de la inyección de plástico han logrado grandes resultados en el campo del prototipado rápido por medio de la manufactura aditiva.

Stratasys® ha desarrollado un método propio de impresión 3D denominado como tecnología PolyJet. Esta empresa ofrece las impresoras 3D Object™ para fabricar prototipos de moldes. Una vez que el plástico es curado con luz ultravioleta los prototipos pueden ser colocados directamente en el equipo de inyección de plástico.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa entre la tecnología PolyJet y los métodos tradicionales de producción de prototipos.

**Tabla 1. Comparativa tecnología PolyJet o métodos tradicionales**

Fuente: Stratasys. *Prototipado de precisión. La función de los moldes impresos en 3D en la industria del moldeo. Año 2013 [Fecha de consulta: 21/03/2017].*

Métodos de fabricación de prototipos	Cantidad óptima de piezas	Material utilizado para fabricar el prototipo	Coste promedio del molde	Coste promedio/pieza	Tiempo promedio/pieza
Impresión 3D	1-10	FDM o plástico PolyJet	-	Alto	Alto
Fresadora	1-100	Termoplástico	Alto	Alto	Medio
Moldeado por silicona	5-100	Resina termoendurecible	Bajo	Medio	Alto
Moldeado por inyección utilizando molde impreso en 3D Polyjet	5-100	Termoplástico	Bajo	Medio	Medio

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

<b>Moldeado por inyección mediante soft tooling</b>	100-20000+	Termoplástico	Alto	Bajo	Muy bajo
---	------------	---------------	------	------	----------

Como se ve en la tabla anterior el mejor proceso para fabricar prototipos es la inyección de plástico en moldes PolyJet, ya que imprimir un molde con esta tecnología conlleva un coste que nos es bajo, pero solo hay que hacer una sola impresión, en caso de hacer todas las piezas en impresión 3D eleva el coste. En cuanto al mecanizado estándar o el soft tooling tanto el coste como el tiempo es alto en comparación con la nueva propuesta.

El material que más se está utilizando en la fabricación de moldes con esta tecnología es el Digital ABS, ya que combina resistencia y dureza con una elevada resistencia a la temperatura pese a que su temperatura de deflexión térmica sea de 66°C.

En cuanto a los materiales que se pueden inyectar en el molde de Digital ABS los mejores son los que tienen temperaturas de molde inferiores a 250°C tales como el Polietileno (PE), Poliestireno (PP), Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), Elastómero termoplástico (TPE), Poliamida (PA), Polioximetileno o acetal (POM), Mezcla de policarbonato ABS (PC-ABS) y Polipropileno reforzado con vidrio o resina reforzada con vidrio (G).

Stratasys® da unos datos de coste y plazo de fabricación de un rotor de ventilador fabricado en POM y son:

- Coste: \$960
- Plazo de fabricación: 1 día

Como vemos en estos datos los costes son muy elevados pese a la gran fiabilidad en los resultados obtenidos y al corto plazo de fabricación del prototipo.

Además la inversión inicial necesaria para contar con un equipo PolyJet es altamente costosa (alrededor de 30.000€) y la tecnología empleada, como se ha comentado en el inicio de este apartado, se trata de un método propio y por lo tanto cerrado por la empresa, lo que implica tener que utilizar únicamente los materiales que ofrece Stratasys®.

### 2.3. CASO DE ESTUDIO

A continuación estudiaremos un caso práctico de la aplicación de la MADMI en la empresa Grundfos, una empresa internacional dedicada a la fabricación de bombas de circulación. Veremos que en dicha colaboración gracias a la tecnología Polyjet (tecnología propia de Stratasys®) se realizan prototipos exitosos de moldes relativamente complejos en impresión 3D

#### GRUNDFOS A/S Y STRATASYS

Los termoplásticos utilizados por Grundfos para sus componentes deben de ser resistentes, tales como, PA reforzado con vidrio, PC, PPS y POM..

En una primera prueba se analizó como se comportaban los moldes impresos en diferentes materiales frente a la inyección de plástico. Los materiales base de la impresión 3D fueron Transparent (RGD720) y Digital ABS, de Polyjet technology, y PA2200 y PA3200 con fibra de vidrio, de SLS technology.



# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

Para esta primera prueba se evaluó una pieza sencilla

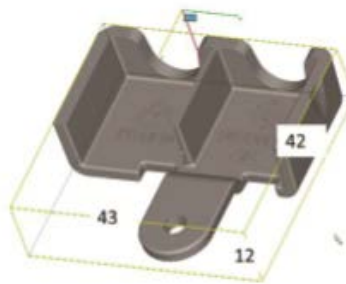


Ilustración 10. Pieza 1

Fuente: *Stratasy. Choosing the right material for injection molds. 2015. [Fecha de consulta: 21/03/2017].*

Tras imprimir los moldes, Grundfos en cada molde inyecta POM, Noryl 20% glass fiber, Polycarbonate 10% glass, PPS 40% glass-filled (GF) y PA66 30 GF 30% glass-filled. Las fibras de vidrio mejoran las prestaciones de los plásticos para trabajar con las especificaciones deseadas de temperatura, viscosidad y abrasión.

Tras los ensayos se observa que para geometrías relativamente simples TRANSPARENT (RGD720) y Digital ABS dan resultados similares y son aptos tanto en el test visual como en el funcional.

Una vez determinados cuales eran los materiales que podían satisfacer las necesidades para realizar un moldeo por inyección, Grundfos decidió realizar un pieza más grande y más compleja que la anterior.



Ilustración 11. Pieza 2

Fuente: *Stratasy. Choosing the right material for injection molds. 2015. [Fecha de consulta: 21/03/2017].*

Grundfos prevee que utilizando la tecnología PolyJet se puede ahorrar un 50% en costes y un 70% en tiempo en la realización de prototipos en comparación con el método tradicional

La compañía lleva a cabo 2 pruebas, una con un molde impreso con TRANSPARENT (RGD720) y otra con un molde impreso en Digital ABS.



## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

### Prueba 1:

Inyectan 30% glass-filled Noryl (PPE-PS-GF30%)

Molde Transparent (RGD720)

En la sexta inyección consiguen las condiciones óptimas de llenado pero después de la séptima inyección las grietas van en aumento y dejan de usar este molde.

### Prueba 2:

Inyectan 30% glass-filled Noryl (PPE-PS-GF30%)

Molde Digital ABS

Mismos parámetros de inyección que en la prueba 1 y consiguen 20 piezas antes de parar pero el molde se podría seguir usando para más pruebas.

En la siguiente figura se muestran los parámetros de inyección.

Gracias a este proceso de fabricación de prototipos de moldes la compañía reduce el tiempo de fabricación de 5 semanas que le cuesta si se mecaniza el molde a 10 días.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 3. ESTUDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES APTOS PARA EL PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

En este estudio se va a determinar, de los filamentos asequibles en el mercado para impresoras open source, cuáles son los materiales adecuados para el proceso de moldeo por inyección de plásticos, tanto los utilizados para la fabricación del molde en impresora 3D como los plásticos inyectables.

### 3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN EMPRESAS DE INYECCIÓN DE LA RIOJA

Ante el escepticismo que nos generaba el hecho de tener que inyectar un material fundido entre 200°C y 250°C en un molde fabricado en ABS con una temperatura de deflexión térmica de 88°C, se decide ir a visitar empresas especializadas en la inyección de plástico en La Rioja.

Se hicieron dos visitas, la primera fue a Zeplas, situada en el polígono industrial Lentiscare, y la segunda visita fue a manufacturas Maher, también situada en el polígono industrial Lentiscare. Queremos agradecer públicamente a estas dos empresas por la atención y el asesoramiento recibido.

Ambas empresas ya habían experimentado el prototipado mediante impresoras 3D, pero los resultados en ambos casos no fueron del todo satisfactorios, además tampoco se mostraron muy convencidos de utilizar el ABS disponible en el mercado, ya que como se ha mencionado anteriormente el Digital ABS utilizado por Stratasy® y que tan buenos resultados les ha dado esta fuera de nuestro alcance.

Aun así su experiencia nos valió para llegar a la conclusión de que quizás el material inyectado sufría un drástico descenso de temperatura en contacto con el molde y por eso el molde no sufría ningún tipo de daño. Además también fueron quienes nos orientaron en cuanto los materiales a inyectar, recomendando el uso de materiales de baja temperatura de fusión y baja densidad.

### 3.2. MATERIALES PARA EL MOLDE

En el UR-Maker contamos con la colaboración de FFF World, empresa situada en el área industrial de Laguardia, Álava, muy próxima a Logroño. FFF World es una empresa especializada en la fabricación de filamento fundido para impresoras 3D.

Los materiales facilitados por FFF World son: ABS++, PETG Tech, PC Tech y Nylon.

Todas las fichas técnicas que aparecen a continuación han sido suministradas por FFF World.

#### 3.2.1. ABS++

Tabla 2. Ficha técnica ABS++

CARACTERÍSTICA	VALOR
Material	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
Número de colores disponible	7
Temperatura recomendada de impresión (hot-end)	240 °C – 250 °C
Temperatura recomendada de la cama caliente	>100 °C
Velocidad recomendada de impresión	40 mm/s – 80 mm/s
Densidad	1,05 g/cm <sup>3</sup>
<b>Temperatura de deflexión térmica</b>	<b>88 °C</b>
Temperatura de fusión	200 °C

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

Temperatura de descomposición	>260 °C
Resistencia al impacto	18 kg-cm/cm
Elongación máxima	20 %

El ABS combina acrilonitrilo, butadieno y estireno, lo que lo hace un material con unas propiedades mecánicas excelentes. Es uno de los termoplásticos más utilizados para impresión 3D

Las propiedades del ABS lo hacen ideal para piezas que requieran un postprocesado, ya que permiten lijarlas, taladrarlas y, en general, trabajarlas sin problema. Además es soluble en acetona lo que permite soldar piezas utilizándola a modo de pegamento. Esta última característica permite, también, usar la acetona para dar un tratamiento superficial a las piezas y que presenten un acabado brillante y pulido.

Para mejorar la adherencia a la plataforma de impresión se recomienda el uso de cama caliente a una temperatura de 100º aproximadamente. Es muy recomendable tratar la superficie de impresión aplicando laca o cinta kapton.

Para una adherencia entre capas óptima es conveniente que los cambios de temperatura del recinto donde esté la impresora sean mínimos así como neutralizar las posibles corrientes de aire.

Siguiendo los dos consejos anteriores además conseguiremos minimizar el warping.

El ABS++ es un filamento termoplástico de gran dureza y resistencia al impacto fabricado en una amplia gama de colores.

En cuanto a las propiedades térmicas, el ABS++ tiene una temperatura de deflexión térmica de 88ºC, una temperatura insuficiente, a priori, para soportar los más de 200ºC a los que será inyectado el plástico.

### 3.2.2. PETG Tech

Tabla 3. Ficha técnica PETG Tech

CARACTERÍSTICA	VALOR
Material	Tereftalato de polietileno glycol
Número de colores disponible	4
Temperatura recomendada de impresión (hot-end)	250 °C – 260 °C
Temperatura recomendad de la cama caliente	70 °C – 85 °C
Velocidad recomendada de impresión	40 mm/s – 60 mm/s
Densidad	1,27 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de deflexión térmica	70 °C
Temperatura de fusión	200 °C
Temperatura de descomposición	>280 °C
Resistencia al impacto	100 kg-cm/cm
Elongación máxima	140 %

El PETG Tech de FFF world es un filamento de P.E.T.G. (Tereftalato de polietileno glycol) apto para impresión 3D FFF/FDM.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

Sus propiedades mecánicas son muy cercanas a las del ABS, ya que cuenta con gran tenacidad, una elevada resistencia al impacto y además es relativamente blando

El PETG tiene una propiedades mecánicas superiores a las del PLA y cercanas a las del ABS. Se trata de un material muy tenaz con una resistencia al impacto elevada y relativamente blando.

La composición de este filamento es muy similar a la del PET, material 100% biodegradable.

El PETG apenas varía su volumen con la temperatura y por lo tanto prácticamente no tiene efecto warping. Esto lo hace apto para imprimir piezas grandes y voluminosas sin temor a que se despeguen de la cama y se deformen.

El PETG se puede imprimir sin necesidad de cama caliente si la superficie de impresión se trata con algún producto para que éste se pegue a la misma. No obstante en caso de que la impresora esté equipada con plataforma calefactora -o heated bed- resulta recomendable activarla a una temperatura de entre 60º y 80º para mejorar la adherencia.

La temperatura de extrusión recomendada es de entre 240º y 260º lo que lo hace compatible con la práctica totalidad de hot-ends disponibles.

En cuanto a la temperatura de deflexión térmica es menor a la del ABS, siendo de 70ºC.

### 3.2.3. PC Tech

Tabla 4. Ficha técnica PC Tech

CARACTERÍSTICA	VALOR
Material	Polycarbonato
Número de colores disponibles	1
Temperatura recomendada de impresión (hot-end)	270 ºC – 290 ºC
Temperatura recomendada de la cama caliente	100 ºC – 125ºC
Velocidad recomendada de impresión	30 mm/s – 60 mm/s
Densidad	1,2 g/cm <sup>3</sup>
<b>Temperatura de deflexión térmica</b>	<b>142 ºC</b>
Temperatura de fusión	> 200 ºC
Temperatura de descomposición	> 300 ºC
Resistencia al impacto	100 kg-cm/cm
Elongación máxima	120 %

El PC Tech de FFF world es un filamento de polycarbonato apto para impresión 3D FDM/FFF

La característica diferencial del polycarbonato es su resistencia a la temperatura pudiendo alcanzar los 140 grados sin deformarse ni perder propiedades.

Sin embargo, el polycarbonato presenta algunos retos a la hora ser impreso.

Es necesario extruirlo a una temperatura de entre 270º y 300º limitando su compatibilidad con muchos hot-ends que no están diseñados para llegar a estas temperaturas.

Además su índice de termodilatación es alto redundando en un acentuado efecto warping y haciendo necesaria la utilización de cama caliente a una temperatura de al menos 100º.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

### 3.2.4. NYLON

Tabla 5. Ficha técnica Nylon

CARACTERÍSTICA	VALOR
Material	Nylon
Número de colores disponibles	1
Temperatura recomendada de impresión (hot-end)	240°C – 260°C
Temperatura recomendada de la cama caliente	>100°C
Velocidad recomendada de impresión	20 mm/s – 50 mm/s
Densidad	1.14 g/cm <sup>3</sup>
<b>Temperatura de deflexión térmica</b>	<b>160°C</b>
Temperatura de fusión	224°C
Temperatura de descomposición	>280°C
Resistencia al impacto	50 kg-cm/cm
Elongación máxima	200%

El Nylon Tech de FFF world es un filamento de nylon para impresión 3D de tecnología FFF/FDM

El nylon es un termoplástico de ingeniería muy versátil que encuentra aplicación en diferentes ámbitos.

Se caracteriza por tener un coeficiente de rozamiento muy bajo además de ser extraordinariamente resistente y tenaz con propiedades mecánicas superiores a las del ABS

De la misma forma que el policarbonato presenta retos a la hora de imprimir y no es compatible con las impresoras que no son capaces de soportar altas temperaturas de extrusión.

### 3.2.5. SELECCION DEL MATERIAL DEL MOLDE

Pese a que el Nylon y el PC presentan las mayores temperaturas de deflexión térmica, su dificultad a la hora de imprimir y las experiencias ya contadas anteriormente, decantan la balanza por el ABS++ con grandes propiedades mecánicas y una temperatura de deflexión térmica de 88°C

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 3.3. MATERIALES INYECTABLES

A continuación se estudiarán los materiales plásticos inyectables en el molde que comúnmente son: polipropileno, LDPE, ABS, TPE, TPO, EVA Y PLA

Todos los datos que aparecen a continuación han sido obtenidos de la base de datos que existe en el programa "Autodesk Moldflow Adviser 2017"

### 3.3.1. POLIPROPILENO

Polyflam RPP1058UHF- : A Schulman

#### 3.3.1.1. PROPIEDADES MECANICAS

DATOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo elástico, 1ª dirección principal (E1)	1340 MPa
Módulo elástico, 2ª dirección principal (E2)	1340 MPa
Coefficiente de Poisson (v 12)	0.392
Coefficiente de Poisson (v 23)	0.392
Módulo de corte (G12)	481.3 MPa

DATOS DEL COEFICIENTE ISOTRÓPICO TRANSVERSAL DE EXPANSIÓN TÉRMICA (CTE)

	1/C
Alpha1	9.05e-05
Alpha2	9.05e-05

#### 3.3.1.2. PROPIEDADES TÉRMICAS

DATOS DE CALOR ESPECÍFICO

	Temperatura (T) °C	Calor especifico (Cp) J/Kg-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	60	1863.6	-0.333
2	80	2171.9	-0.333
3	100	2324	-0.333
4	110	2329.6	-0.333
5	130	2623.6	-0.333
6	140	2939.3	-0.333
7	150	3778.2	-0.333
8	160	6866.2	-0.333
9	170	2941	-0.333
10	180	2582.1	-0.333
11	230	2708.5	-0.333
12	260	2788	-0.333

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

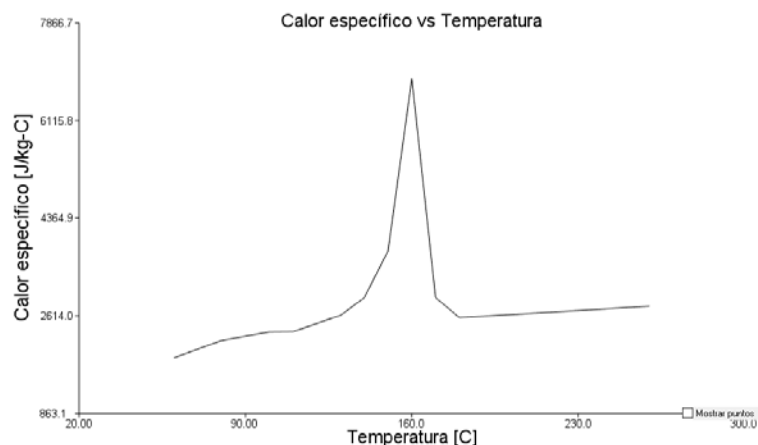


Ilustración 12. Calor específico vs Temperatura Polipropileno

## DATOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

	Temperatura (T) °C	Conductividad térmica (k) W/m-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	215.5	0.156	0

### 3.3.1.3. PROCESAMIENTO RECOMENDADO

Temperatura de la superficie del molde	50 °C
Temperatura de masa fundida	230 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DEL MOLDE (RECOMENDADO)	
Mínimo	20 °C
Máximo	80 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DE MASA FUNDIDA (RECOMENDADO)	
Mínimo	200 °C
Máximo	280 °C

Temperatura absoluta máxima de masa fundida	320 °C
Temperatura de expulsión	93 °C
Esfuerzo de cizalla máximo	0.26 MPa
Velocidad de cizalla máxima	24000 1/s

### 3.3.1.4. INDICADORES DE CALIDAD

Indicador de calidad de llenado	Plata
Indicador de calidad de compactación	Bronce
Indicador de calidad de deformación	Bronce

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 3.3.2.LDPE

NPE00IA02NA : Ferro

### 3.3.2.1. PROPIEDADES MECANICAS

DATOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo elástico, 1ª dirección principal (E1)	124 MPa
Módulo elástico, 2ª dirección principal (E2)	124 MPa
Coefficiente de Poisson (v 12)	0.41
Coefficiente de Poisson (v 23)	0.41
Módulo de corte (G12)	43.97 MPa

DATOS DEL COEFICIENTE ISOTRÓPICO TRANSVERSAL DE EXPANSIÓN TÉRMICA (CTE)

	1/C
Alpha1	0.00018
Alpha2	0.00018

### 3.3.2.2. PROPIEDADES TÉRMICAS

DATOS DE CALOR ESPECÍFICOS

	Temperatura (T) °C	Calor especifico (Cp) J/Kg-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	214	2415	-0.333

DATOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

	Temperatura (T) °C	Conductividad térmica (k) W/m-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	214	0.31	0

### 3.3.2.3. PROCESAMIENTO RECOMENDADO

Temperatura de la superficie del molde	40 °C
Temperatura de masa fundida	220 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DEL MOLDE (RECOMENDADO)	
Mínimo	20 °C
Máximo	70 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DE MASA FUNDIDA (RECOMENDADO)	
Mínimo	180 °C
Máximo	280 °C

Temperatura absoluta máxima de masa fundida	320 °C
Temperatura de expulsión	80 °C



## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

Esfuerzo de cizalla máximo	0.11 MPa
Velocidad de cizalla máxima	40000 1/s

### 3.3.2.4. INDICADORES DE CALIDAD

Indicador de calidad de llenado	Bronce
Indicador de calidad de compactación	Bronce
Indicador de calidad de deformación	Bronce

### 3.3.3.ABS

UMG ABS GSM : UMG ABS Ltd

#### 3.3.3.1. PROPIEDADES MECANICAS

DATOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo elástico, 1ª dirección principal (E1)	695 MPa
Módulo elástico, 2ª dirección principal (E2)	695 MPa
Coeficiente de Poisson (v 12)	0.48
Coeficiente de Poisson (v 23)	0.48
Módulo de corte (G12)	234.8 MPa

DATOS DEL COEFICIENTE ISOTRÓPICO TRANSVERSAL DE EXPANSIÓN TÉRMICA (CTE)

	1/C
Alpha1	0.00019
Alpha2	0.00019

#### 3.3.3.2. PROPIEDADES TÉRMICAS

DATOS DE CALOR ESPECÍFICOS

	Temperatura (T) °C	Calor especifico (Cp) J/Kg-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	240	2400	-0.333

DATOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

	Temperatura (T) °C	Conductividad térmica (k) W/m-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	240	0.18	0

#### 3.3.3.3. PROCESAMIENTO RECOMENDADO

Temperatura de la superficie del molde	50 °C
Temperatura de masa fundida	230 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DEL MOLDE (RECOMENDADO)	
Mínimo	25 °C
Máximo	80 °C

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

INTERVALO DE TEMPERATURAS DE MASA FUNDIDA (RECOMENDADO)	
Mínimo	200 °C
Máximo	280 °C

Temperatura absoluta máxima de masa fundida	320 °C
Temperatura de expulsión	88 °C
Esfuerzo de cizalla máximo	0.28 MPa
Velocidad de cizalla máxima	12000 1/s

## 3.3.3.4. INDICADORES DE CALIDAD

Indicador de calidad de llenado	Bronce
Indicador de calidad de compactación	Bronce
Indicador de calidad de deformación	Bronce

## 3.3.4. TPE

Riteflex 672 : Celanese

### 3.3.4.1. PROPIEDADES MECANICAS

#### DATOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo elástico, 1ª dirección principal (E1)	470 MPa
Módulo elástico, 2ª dirección principal (E2)	470 MPa
Coefficiente de Poisson ( $\nu_{12}$ )	0.38
Coefficiente de Poisson ( $\nu_{23}$ )	0.38
Módulo de corte (G12)	170.29 MPa

#### DATOS DEL COEFICIENTE ISOTRÓPICO TRANSVERSAL DE EXPANSIÓN TÉRMICA (CTE)

	1/C
Alpha1	0.000173
Alpha2	0.000173

### 3.3.4.2. PROPIEDADES TÉRMICAS

#### DATOS DE CALOR ESPECÍFICOS

	Temperatura (T) °C	Calor específico (Cp) J/Kg-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	60	1611.6	-0.333
2	100	1824.4	-0.333
3	110	1964.4	-0.333
4	120	1868.4	-0.333
5	180	1976.7	-0.333
6	190	2086.2	-0.333
7	200	2580	-0.333
8	210	4067.8	-0.333

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

9	220	3520.8	-0.333
10	230	2086	-0.333
11	240	2108.2	-0.333

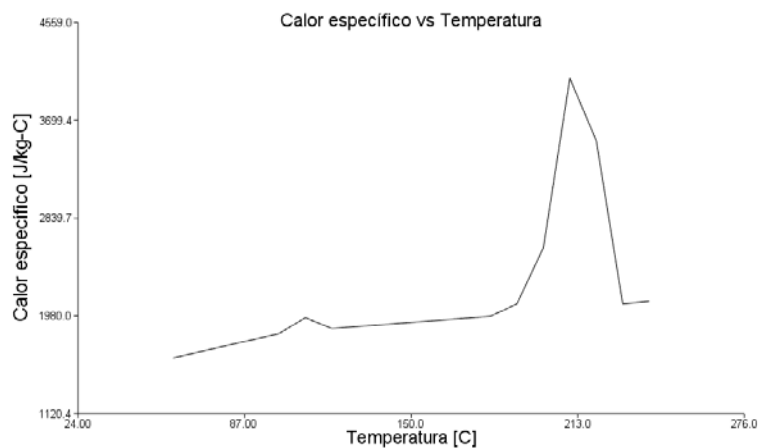


Ilustración 13. Calor específico vs Temperatura TPE

### DATOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

	Temperatura (T) °C	Conductividad térmica (k) W/m-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	243	0.234	0

#### 3.3.4.3. PROCESAMIENTO RECOMENDADO

Temperatura de la superficie del molde	50 °C
Temperatura de masa fundida	250 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DEL MOLDE (RECOMENDADO)	
Mínimo	15 °C
Máximo	80 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DE MASA FUNDIDA (RECOMENDADO)	
Mínimo	220 °C
Máximo	280 °C

Temperatura absoluta máxima de masa fundida	320 °C
Temperatura de expulsión	125 °C
Esfuerzo de cizalla máximo	0.41 MPa
Velocidad de cizalla máxima	40000 1/s

#### 3.3.4.4. INDICADORES DE CALIDAD

Indicador de calidad de llenado	Plata
Indicador de calidad de compactación	Bronce

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

Indicador de calidad de deformación	Bronce
-------------------------------------	--------

## 3.3.5. TPO

Polytrope TPP608-31 : A Schulman

### 3.3.5.1. PROPIEDADES MECANICAS

DATOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo elástico, 1ª dirección principal (E1)	119 MPa
Módulo elástico, 2ª dirección principal (E2)	119 MPa
Coeficiente de Poisson ( $\nu$ 12)	0.395
Coeficiente de Poisson ( $\nu$ 23)	0.395
Módulo de corte (G12)	42.65 MPa

DATOS DEL COEFICIENTE ISOTRÓPICO TRANSVERSAL DE EXPANSIÓN TÉRMICA (CTE)

	1/C
Alpha1	8.7e-05
Alpha2	8.7e-05

### 3.3.5.2. PROPIEDADES TÉRMICAS

DATOS DE CALOR ESPECÍFICOS

	Temperatura (T) °C	Calor especifico (Cp) J/Kg-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	55	1923.7	-0.3333
2	65	2181.7	-0.3333
3	75	2019.5	-0.3333
4	85	2083.9	-0.3333
5	95	2213.6	-0.3333
6	105	2827.4	-0.3333
7	115	4759.1	-0.3333
8	125	2225	-0.3333
9	135	2257.1	-0.3333
10	145	2289.4	-0.3333
11	155	2321.8	-0.3333
12	165	2356	-0.3333
13	175	2388.4	-0.3333
14	185	2419.2	-0.3333
15	195	2450	-0.3333
16	205	2480.6	-0.3333
17	215	2508.9	-0.3333
18	225	2501.3	-0.3333

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

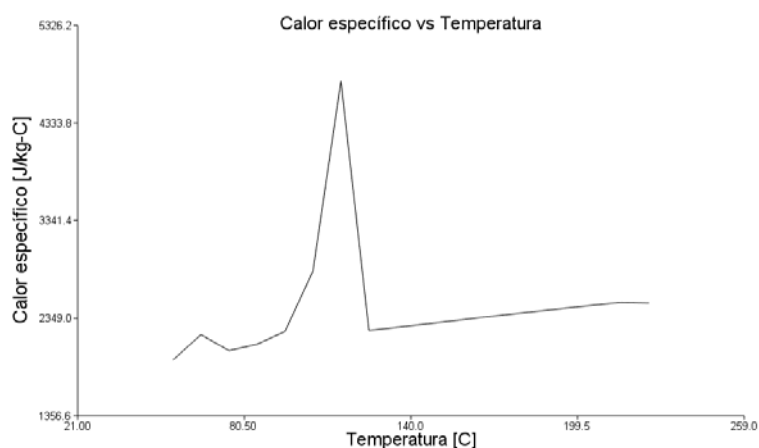


Ilustración 14. Calor específico vs Temperatura TPO

## DATOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

	Temperatura (T) °C	Conductividad térmica (k) W/m-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	193	0.192	0

### 3.3.5.3. PROCESAMIENTO RECOMENDADO

Temperatura de la superficie del molde	38 °C
Temperatura de masa fundida	216 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DEL MOLDE (RECOMENDADO)	
Mínimo	27 °C
Máximo	49 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DE MASA FUNDIDA (RECOMENDADO)	
Mínimo	193 °C
Máximo	238 °C

Temperatura absoluta máxima de masa fundida	278 °C
Temperatura de expulsión	90 °C
Esfuerzo de cizalla máximo	0.5 MPa
Velocidad de cizalla máxima	100000 1/s

### 3.3.5.4. INDICADORES DE CALIDAD

Indicador de calidad de llenado	Plata
Indicador de calidad de compactación	Bronce
Indicador de calidad de deformación	Bronce

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 3.3.6.EVA

GREENFLEX ML 30 : Versalis

### 3.3.6.1. PROPIEDADES MECANICAS

DATOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo elástico, 1ª dirección principal (E1)	90 MPa
Módulo elástico, 2ª dirección principal (E2)	90 MPa
Coeficiente de Poisson ( $\nu_{12}$ )	0.41
Coeficiente de Poisson ( $\nu_{23}$ )	0.41
Módulo de corte (G12)	32 MPa

DATOS DEL COEFICIENTE ISOTRÓPICO TRANSVERSAL DE EXPANSIÓN TÉRMICA (CTE)

	1/C
Alpha1	0.000125
Alpha2	0.000125

### 3.3.6.2. PROPIEDADES TÉRMICAS

DATOS DE CALOR ESPECÍFICOS

	Temperatura (T) °C	Calor especifico (Cp) J/Kg-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	20	2343	0
2	30	2530	0
3	40	2792	0
4	50	3135	0
5	60	3168	0
6	70	3534	0
7	80	7171	0
8	90	2337	0
9	120	2416	0
10	140	2471	0
11	170	2541	0
12	190	2545	0

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

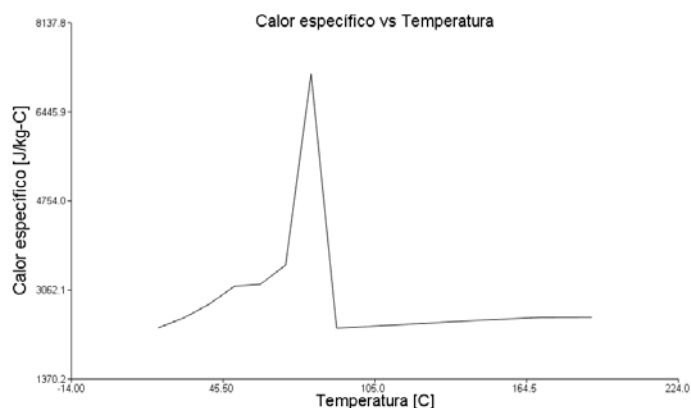


Ilustración 15. Calor específico vs Temperatura EVA

## DATOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

	Temperatura (T) °C	Conductividad térmica (k) W/m-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	200	0.2	0

### 3.3.6.3. PROCESAMIENTO RECOMENDADO

Temperatura de la superficie del molde	20 °C
Temperatura de masa fundida	180 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DEL MOLDE (RECOMENDADO)	
Mínimo	10 °C
Máximo	30 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DE MASA FUNDIDA (RECOMENDADO)	
Mínimo	150 °C
Máximo	210 °C

Temperatura absoluta máxima de masa fundida	230 °C
Temperatura de expulsión	74 °C
Esfuerzo de cizalla máximo	0.1 MPa
Velocidad de cizalla máxima	30000 1/s

### 3.3.6.4. INDICADORES DE CALIDAD

Indicador de calidad de llenado	Plata
Indicador de calidad de compactación	Bronce
Indicador de calidad de deformación	Bronce

### 3.3.7. PLA

NatureWorks PLA 7000D: NatureWorks

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 3.3.7.1. PROPIEDADES MECÁNICAS

### DATOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo elástico, 1ª dirección principal (E1)	3500 MPa
Módulo elástico, 2ª dirección principal (E2)	3500 MPa
Coefficiente de Poisson (v 12)	0.36
Coefficiente de Poisson (v 23)	0.36
Módulo de corte (G12)	1287 MPa

### DATOS DEL COEFICIENTE ISOTRÓPICO TRANSVERSAL DE EXPANSIÓN TÉRMICA (CTE)

	1/C
Alpha1	0.000085
Alpha2	0.000085

## 3.3.7.2. PROPIEDADES TÉRMICAS

### DATOS DE CALOR ESPECÍFICOS

	Temperatura (T) °C	Calor específico (Cp) J/Kg-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	52	1483	-0.3333
2	55	1590	-0.3333
3	58	1725	-0.3333
4	60	1804	-0.3333
5	62	1851	-0.3333
6	65	1880	-0.3333
7	70	1901	-0.3333
8	100	1955	-0.3333
9	140	1994	-0.3333
10	160	2020	-0.3333
11	190	2060	-0.3333
12	230	2114	-0.3333

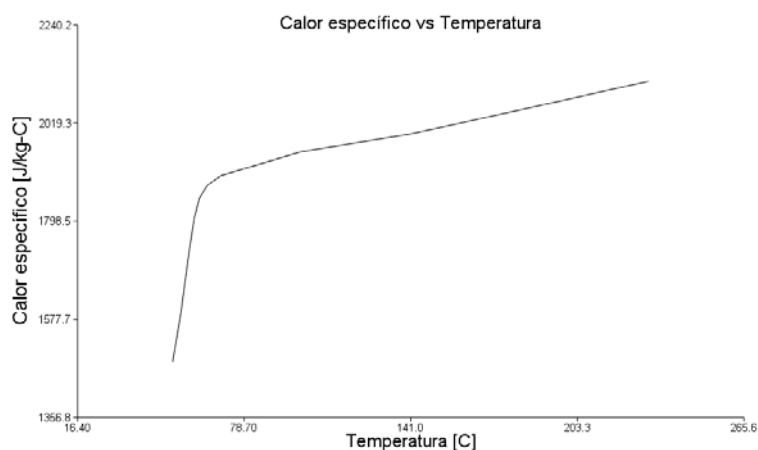


Ilustración 16. Calor específico vs Temperatura PLA



# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## DATOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

	Temperatura (T) °C	Conductividad térmica (k) W/m-°C	Velocidad de calentamiento/refrigeración C/s
1	48.4	0.1108	0
2	68.1	0.1777	0
3	87.8	0.1978	0
4	109	0.1973	0
5	129.4	0.1979	0
6	149.6	0.1924	0
7	169.7	0.195	0
8	190.6	0.1946	0
9	211.9	0.2054	0
10	233	0.1945	0

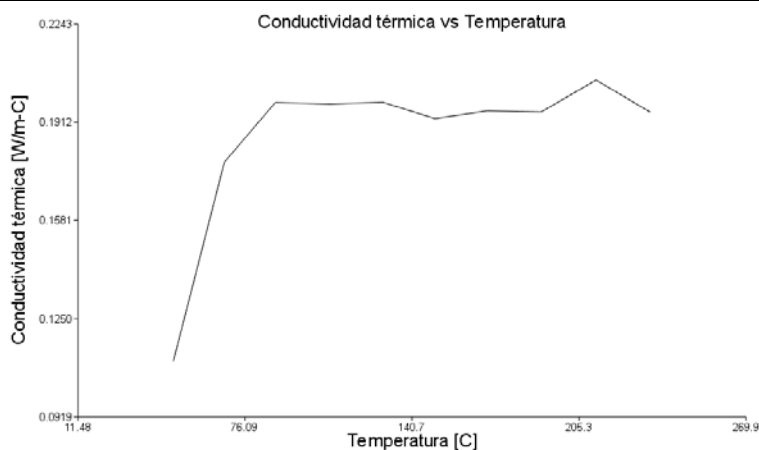


Ilustración 17. Conductividad térmica vs Temperatura PLA

### 3.3.7.3. PROCESAMIENTO RECOMENDADO

Temperatura de la superficie del molde	24 °C
Temperatura de masa fundida	200 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DEL MOLDE (RECOMENDADO)	
Mínimo	10 °C
Máximo	38 °C

INTERVALO DE TEMPERATURAS DE MASA FUNDIDA (RECOMENDADO)	
Mínimo	170 °C
Máximo	230 °C

Temperatura absoluta máxima de masa fundida	270 °C
Temperatura de expulsión	52 °C
Esfuerzo de cizalla máximo	0.5 MPa
Velocidad de cizalla máxima	100000 1/s

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 3.3.7.4. INDICADORES DE CALIDAD

Indicador de calidad de llenado	Oro
Indicador de calidad de compactación	Oro
Indicador de calidad de deformación	Oro

## 3.4. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES A INYECTAR EN ESTE ESTUDIO

Para este estudio finalmente se determina inyectar Polipropileno y PLA, debido a sus temperaturas de inyección relativamente bajas (200°C) en comparación con el resto de materiales y su baja densidad. Además los indicadores de calidad (ORO en el caso del PLA) predicen que en general son materiales fáciles de inyectar. Otro factor determinante fue la facilidad de disponer de estos materiales en el área UR-Maker.

## 4. APLICACIÓN DE LA MADMI EN IMPRESORAS OPEN SOURCE Y FILAMENTO DE BAJO COSTE

Con toda la información mostrada anteriormente sobre la experiencia de otras empresas en el prototipado rápido y con las especificaciones técnicas de los materiales de los que se dispone para llevar a cabo este proyecto, tanto polímeros de impresión 3D como los polímeros inyectables en el molde realizado, se comienza la implementación de la MADMI.

### 4.1. TEST DE TEMPERATURA

Este test es llevado a cabo debido a que las especificaciones técnicas nos decían que no iba a ser posible inyectar PLA en ABS++, ya que como se ha mostrado anteriormente el ABS++ tiene una temperatura de deflexión térmica, es decir, de ablandamiento y por lo tanto de deformación de 88°C y el PLA se funde a 190°C.

Pese a que parece imposible inyectar PLA a 190°C en un molde de ABS++ sin que este se deforme, las experiencias llevadas a cabo por empresas especializadas en el sector decían lo contrario.

Es por esto por lo que se decide llevar a cabo un primer test de temperatura.

#### 4.1.1. DISEÑO DE PROBETAS

Para este test se diseñan dos probetas diferentes, uno en el que se mantendrá el diámetro fijo y variará el espesor y otro en el que el espesor se mantiene constante y es el diámetro el que cambia.

La finalidad de esta prueba es ver cómo afecta al molde de ABS++ el contacto con el PLA a 220°C según diferentes diámetros y espesores.

El diseño se ha llevado a cabo con el software Creo Parametric 2.0.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 4.1.1.1. PROBETA DIAMETROS

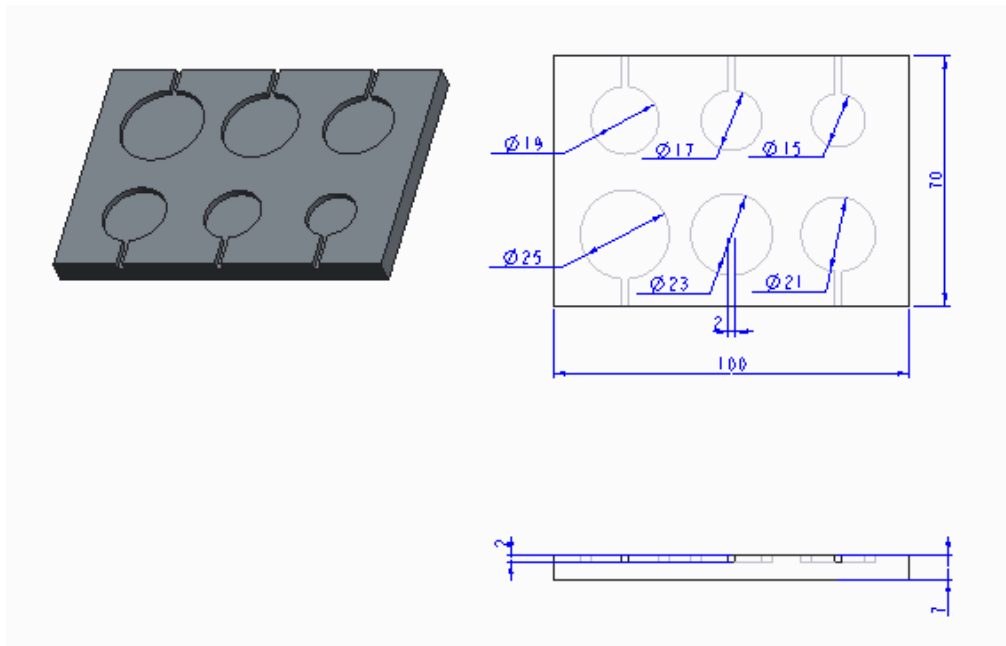


Ilustración 18. Probetas diámetro

## 4.1.1.2. PROBETA ESPESORES

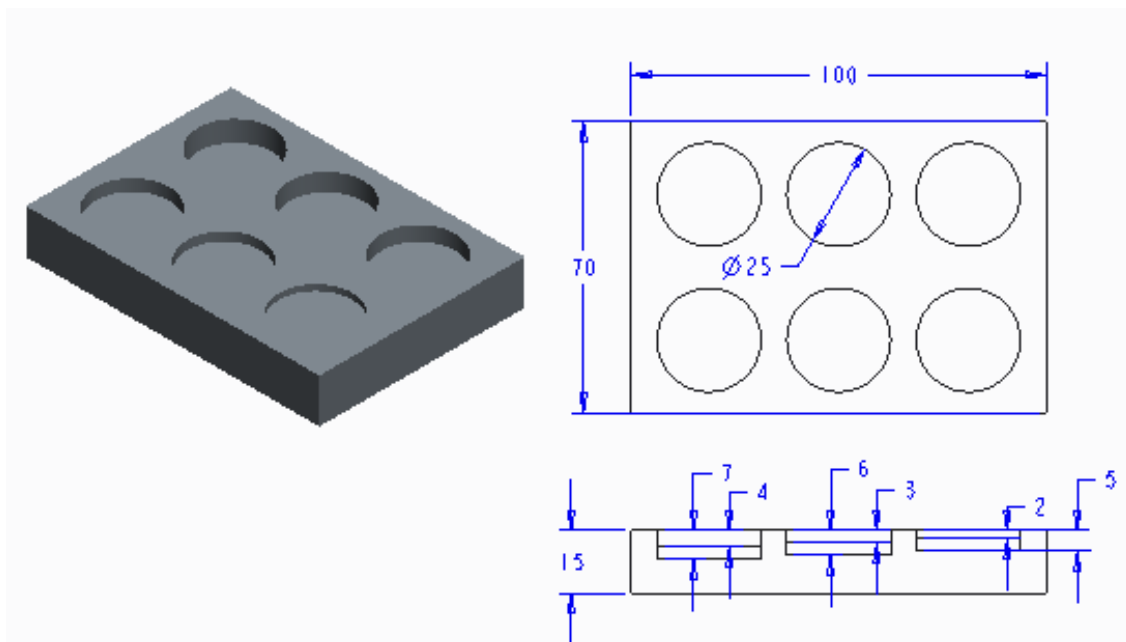


Ilustración 19. Probetas espesor

## 4.1.2. IMPRESIÓN PROBETAS

La impresión de los moldes en la impresora 3D se lleva a cabo a través del software Cura BCN3D, donde es posible determinar las características referentes a la calidad de la impresión el llenado de la pieza o la temperatura y la velocidad de la impresión. Tal y como se ve en la siguiente imagen.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA



Ilustración 20. Pantallazo CURA BCN3D

Una vez que se han determinado en el software todas las características deseadas se procede a imprimir el modelo.

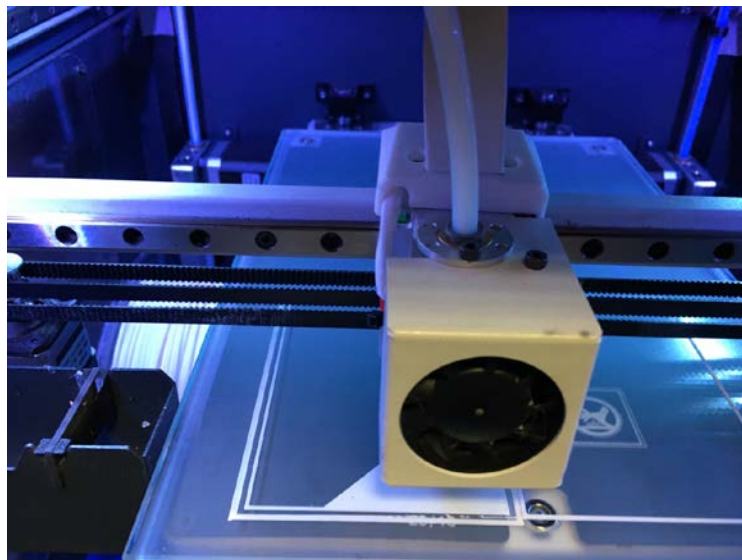


Ilustración 21. Impresión del molde

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

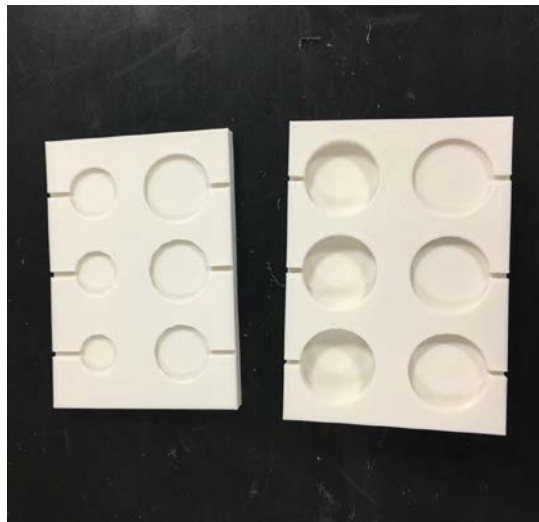


Ilustración 22. Probetas impresas



Ilustración 23. Warping

En la imagen anterior se aprecia que los resultados de la impresión no fueron los deseados, produciéndose el anteriormente citado warping, ya que se optó por realizar una pieza maciza tal y como se muestra en las especificaciones del software de impresión.

<b>Fill</b>	
Bottom/Top thickness (mm)	<input type="text" value="0.6"/>
Fill Density (%)	<input type="text" value="100"/> ...

Para esta fase del proyecto este fallo no interfiere en el desarrollo del mismo, ya que solo nos interesa comprobar el comportamiento del ABS++ frente a PLA a 220°C en diferentes

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

situaciones, tales como diferentes diámetros o espesores. Aunque sí que será de interés para la impresión de los moldes en las siguientes fases del proyecto.

## 4.1.3. LLENADO DE LAS PROBETAS

Para rellenar las probetas con PLA es necesario fundir dicho plástico a una temperatura superior a 190°C y para ello se cuenta con un horno en el taller de prototipado de la UR, donde el PLA fue fundido a una temperatura de 260°C y a continuación vertido en las probetas impresas en ABS++

Previamente se hizo un tratado del molde para eliminar todo tipo de asperezas y ayudar al desmolde posterior del plástico vertido en él.

Como se muestra en las siguientes imágenes este tratamiento previo consistió en pulir las superficies con acetona.

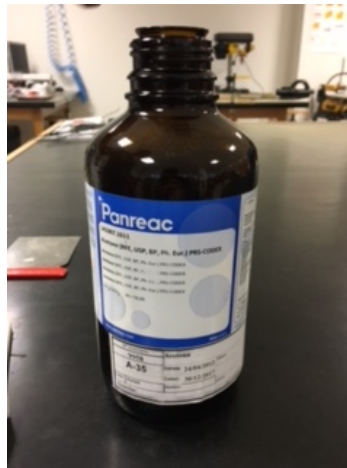


Ilustración 24. Acetona



Ilustración 25. Puliendo la probeta con acetona

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 26. Probeta pulida

*Figura 29. Molde pulido*

Tras la preparación del molde se funde el PLA a más de 190°C (260°C)



Ilustración 27. PLA triturado



## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 28. Horno



Ilustración 29. PLA fundido

Una vez el plástico está fundido y actuando de manera rápida para intentar que la temperatura del plástico no descienda hasta que esté en contacto con el molde se vierte dicho plástico en las piezas impresas mediante manufactura aditiva.



## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

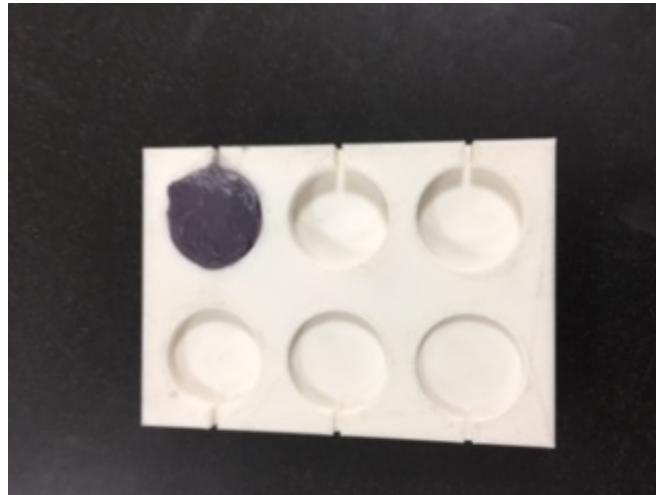


Ilustración 30. PLA vertido en la probeta

### 4.1.4. OBSERVACIONES

Tras realizar este ensayo de temperatura se comprueba que aunque las especificaciones técnicas indicaban que el ABS++ se deforma a partir de los 88°C y parezca imposible que se mantenga inalterado cuando está en contacto con PLA fundido, es posible inyectar PLA fundido a más de 190°C en un molde de ABS++, ya que la temperatura del plástico fundido desciende a gran velocidad cuando entra en contacto con el molde y este no se ve afectado y no depende ni de espesor ni de la superficie, es decir se podrá inyectar en cualquier molde con cualquier geometría, como se muestra a continuación.



Ilustración 31. Detalle probeta diámetros

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

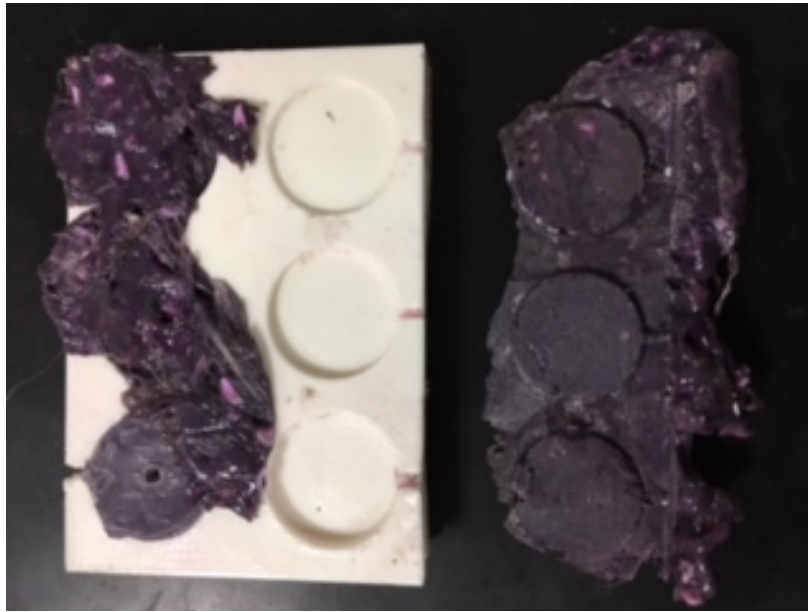


Ilustración 32. Detalle probeta espesores

### 4.2. MOLDES DE INYECCIÓN IMPRESOS EN ABS++

La segunda fase del trabajo y una vez que se ha comprobado que los moldes de ABS++ soportan el contacto durante un breve instante de tiempo con PLA fundido a más de 220°C, se diseñaron y probaron moldes de geometrías de complejidad ascendente. Posteriormente estos moldes fueron inyectados con la máquina de inyección comentada anteriormente, desarrollada en el UR-Maker a partir de un taladro de columna.

#### 4.2.1. MOLDE DE UNA MONEDA

##### 4.2.1.1. SIMULACIÓN NUMÉRICA

Para predecir cómo va a ser la inyección se realiza una simulación numérica con Autodesk Moldflow, a continuación se muestran los resultados obtenidos para este molde, en el Anexo I se explica paso a paso como realizar esta simulación numérica.

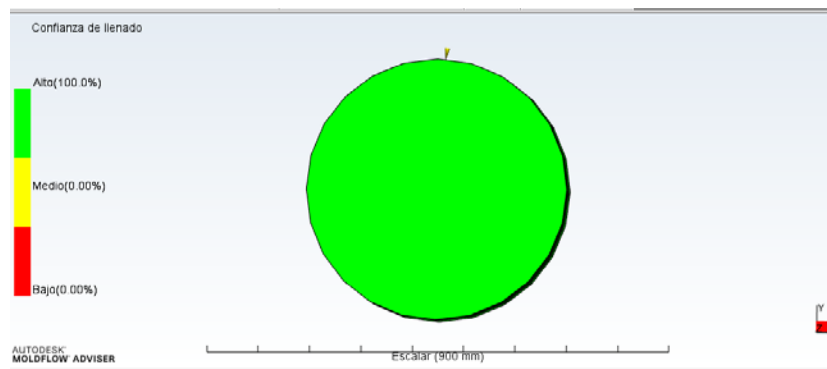


Ilustración 33. Confianza de llenado moneda

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

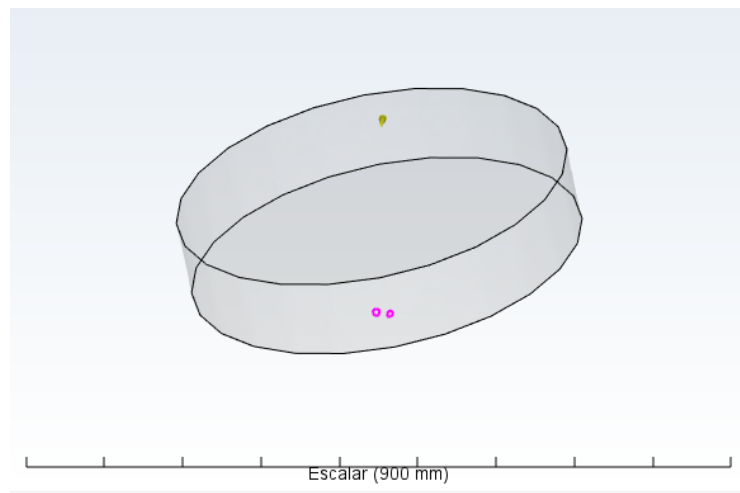


Ilustración 34. Atrapamientos de aire moneda

Estos atrapamientos de aire mostrados por el asistente de análisis, van a aparecer en la inyección, por lo tanto en todos los moldes serán necesarios los conductos de ventilación en las zonas donde nos indique que pueden existir atrapamientos de aire.

### 4.2.1.2. DISEÑO DEL MOLDE

El molde fue diseñado en el software Creo Parametric 2.0. El molde consta de dos partes exactamente iguales.

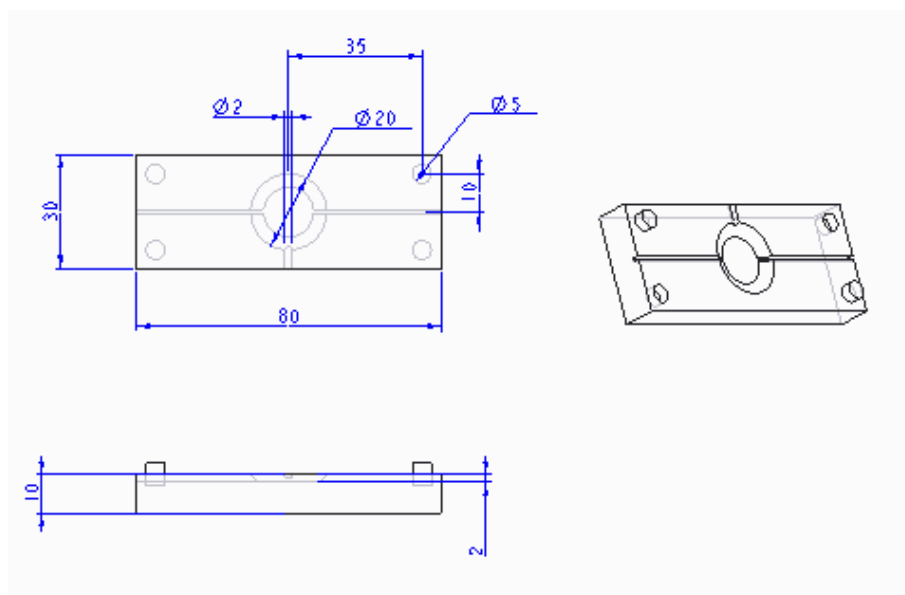


Ilustración 35. Molde moneda

### 4.2.1.3. IMPRESIÓN 3D DEL MOLDE

Una vez el molde está diseñado se imprime en la impresora 3D. En este caso se utiliza la impresora Ultimaker 2+

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

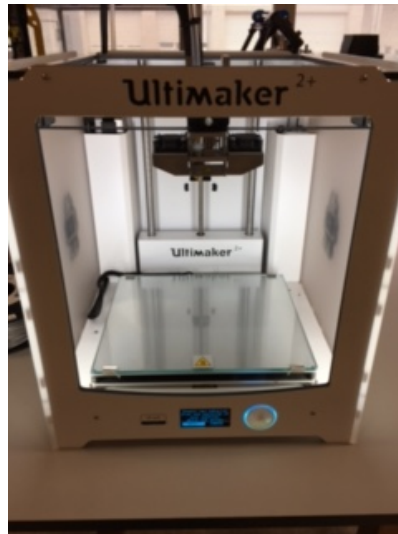


Ilustración 36. ULTIMAKER 2+

Para ello es necesario proporcionar las características de impresión en el software CURA BCN3D. A continuación se muestran todos los parámetros deseados para la impresión de este molde.

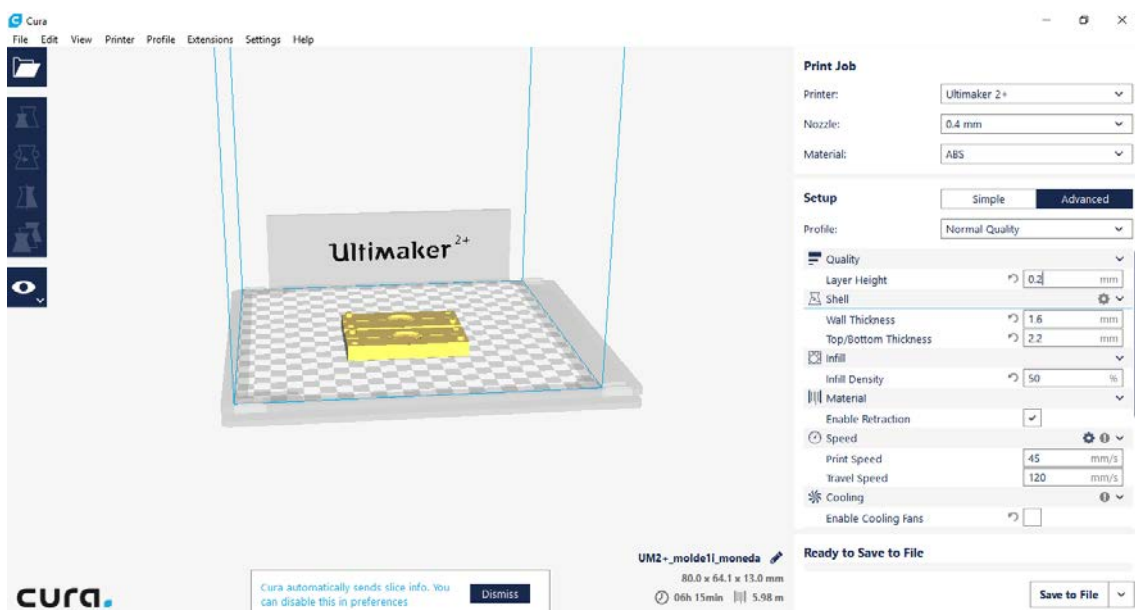


Ilustración 37. Pantallazo CURA BCN3D

En este caso, y tras la experiencia anterior, el molde se rellena solo al 50% lo que permite un resultado totalmente satisfactorio sin ningún tipo de imperfección en la impresión.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

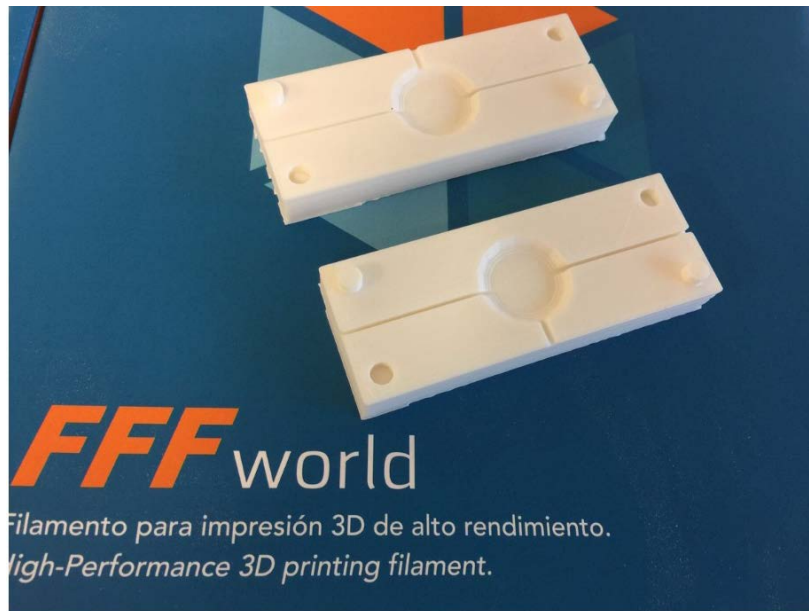


Ilustración 38. Molde moneda

### 4.2.1.4. INYECCIÓN DEL MOLDE

Con el molde impreso se procede a la inyección del plástico en la máquina de inyección vertical.

Para ello el molde deberá ser fijado en el tornillo de banco tal y como se muestra en la siguiente imagen. Además, para proteger el molde, se coloca una chapa metálica en la parte superior, dicha chapa consta de un taladro con el mismo diámetro que la entrada de material del molde, es decir 2mm.



Ilustración 39. Molde moneda en el tornillo de banco



## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

Como ya se ha citado anteriormente el plástico inyectado será PLA y este debe de ser fundido a más de 190°C.



Ilustración 40. PLA reciclado y triturado



Ilustración 41. PLA dentro del cilindro calefactado

Cuando el PLA esté fundido se inyecta en el molde.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

### 4.2.1.5. OBSERVACIONES

Tras inyectar el plástico fundido en el molde y el posterior desmolde se observa lo siguiente.

PRUEBA 1: Tras la primera inyección se observa que el molde no es llenado en su totalidad y además aparece en la parte inferior una burbuja de aire, esto es debido a que en esa parte del molde no hay conducto de ventilación, tal y como indica el asistente virtual.



Ilustración 42. Molde moneda abierto



Ilustración 43. Moneda

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 44. Detalle moneda



Ilustración 45. Defecto en la moneda

### PRUEBA 2:

Se ejerce más presión en la inyección del plástico, lo que provoca que el molde se llene completamente, mejorando la primera prueba, pero la burbuja de aire sigue apareciendo.

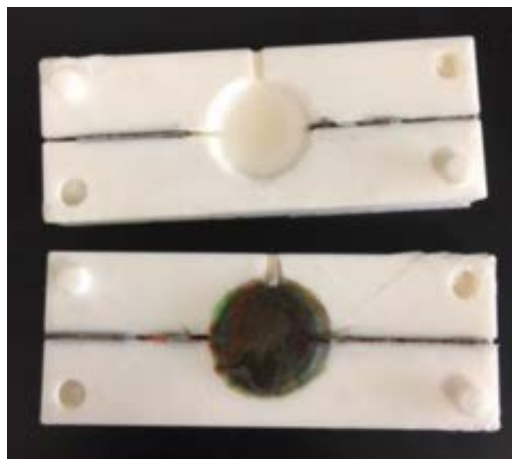


Ilustración 46. Moneda prueba 2



## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



**Ilustración 47. Detalle moneda prueba 2**

Tras estas inyecciones se concluye que el molde cumple las expectativas y soporta tanto las temperaturas como las presiones de inyección. Además se concluye que será posible reducir las dimensiones del mismo y ajustarlo a la geometría deseada para así disminuir el tiempo de impresión de los moldes.

Por otra parte, se determina que es necesario añadir a los moldes los conductos de ventilación en las zonas establecidas por el Moldflow y proveer los moldes de unas pestañas que faciliten el desmontaje una vez se haya inyectado el plástico.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

### 4.2.2. MOLDE DE UNA ESTRELLA

En esta parte del proyecto se entra en la fase 3, en la que se va a intentar inyectar PLA en moldes con geometrías más complejas, ya que la finalidad es poder realizar cualquier tipo de figura.

#### 4.2.2.1. DISEÑO MOLDES

Tal y como ocurría en el molde anterior, este también constara de dos partes exactamente iguales.

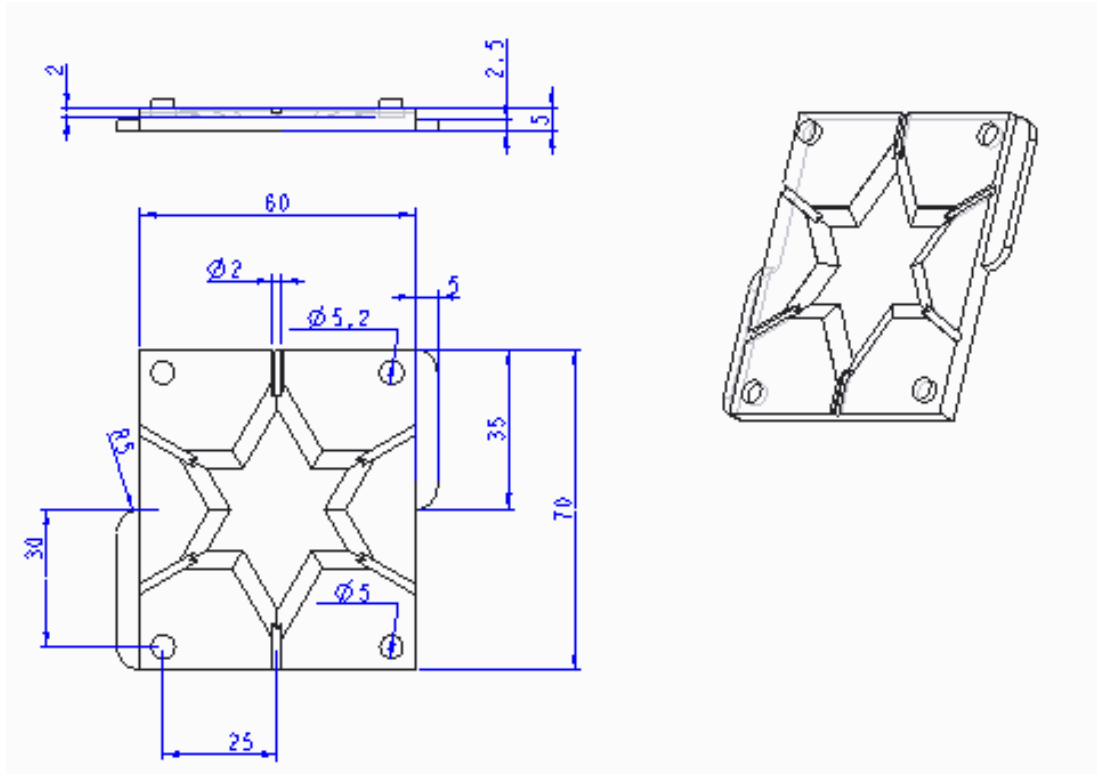


Ilustración 48. Molde estrella

Como se puede apreciar, se añaden las pestañas anteriormente citadas y el molde se ajusta a la geometría deseada y disminuyendo el espesor del mismo a la mitad, de 10mm a 5mm, lo que permite acelerar el proceso de impresión y por lo tanto el proceso completo de diseño, impresión e inyección.

#### 4.2.2.2. IMPRESIÓN DEL MOLDE

La impresión se lleva a cabo con los mismos parámetros que la impresión anterior, ya que los problemas originales ya se corrigieron y la impresión es satisfactoria.

Del mismo modo se utiliza el software CURA BCN3D y la impresora ULTIMAKER 2+

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 49. Molde estrella impreso

### 4.2.2.3. INYECCIÓN DEL MOLDE

Se fija el molde en el tornillo de banco y se protege la parte superior con una chapa metálica, tal y como se procedió en la fase anterior.

En este caso se inyecta Polipropileno.



Ilustración 50. Molde estrella en el tornillo de banco

### 4.2.2.4. OBSERVACIONES

Tras la inyección se comprueba que el resultado es satisfactorio y que las mejoras realizadas son totalmente válidas y mejoran el producto final.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 51. Estrella desmoldada



Ilustración 52. Estrella tras el postprocesado

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

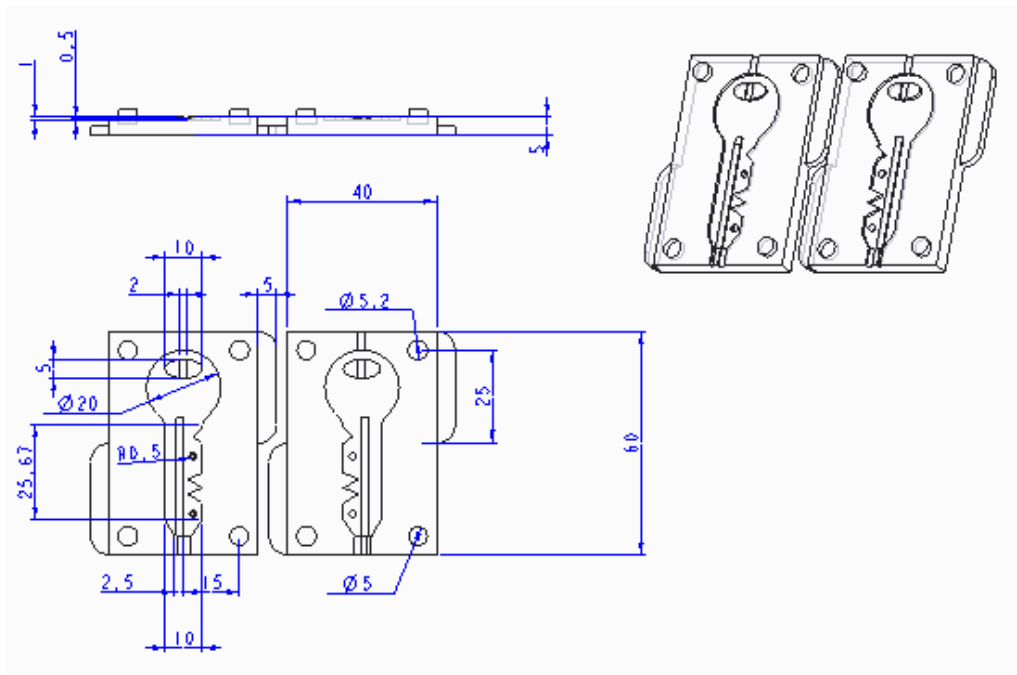
### 4.2.3. MOLDE DE UNA LLAVE

Siguiendo con la fase de realizar geometrías complejas y tras el éxito del anterior molde, se decide ir un punto más lejos y diseñar un molde con diferentes particularidades y observar el comportamiento de la inyección.

#### 4.2.3.1. DISEÑO MOLDES

Tal y como se han diseñado los moldes anteriores se utiliza CREO Parametric 2.0.

Como se ve en la siguiente figura el molde ya no consta de dos partes iguales, en este caso cada parte del molde tiene su geometría.



### Ilustración 53. Molde llave

#### 4.2.3.2. IMPRESIÓN DEL MOLDE

Igual que anteriormente se utiliza el software CURA BCN3D y la impresora ULTIMAKER 2+



### Ilustración 54. Molde llave impreso

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## 4.2.3.3. INYECCIÓN PLÁSTICO

Se corrige la falta de apriete en la parte superior con un “sargento” que apriete la parte que queda descubierta.



Ilustración 55. Molde en el tornillo de banco



Ilustración 56. Llave tras el postprocesado

## 4.2.3.4. OBSERVACIONES

Una vez que el problema de acople del molde esta solucionado, la figura se genera sin ningún problema, pero el molde se resiente y se funde en la entrada de material fundido ya que es la parte que más temperatura soporta, este es el primer molde que presenta este defecto. En secciones posteriores se presenta un estudio de durabilidad de los moldes impresos en ABS++

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 57. Molde tras la inyección

Además el interior del molde también se resiente debido a la temperatura.



Ilustración 58. Molde tras la inyección 2

Es preciso recordar que todas las inyecciones realizadas a lo largo del proyecto han sido hechas con PLA y PP fundido a 220°C, la temperatura siempre ha sido la misma.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## 4.2.4. MOLDE DE UNA CUCHARA DOSIFICADORA

Tras el éxito alcanzado en las fases anteriores, se diseñan moldes de objetos que puedan tener una utilidad y se diseña un cuchara dosificadora.

### 4.2.4.1. SIMULACIÓN NUMÉRICA

Un cambio significativo en este molde es la posición de la entrada de material, ya que en todos los moldes realizados anteriormente la entrada estaba situada en la mitad del molde, es decir en la zona de unión y en este la entrada del PP se va a realizar por el centro de la circunferencia de la cuchara, afectando esto solo a una parte del molde.

Esta decisión se ha tomado siguiendo las recomendaciones de Moldflow que como se muestra a continuación indica que ese es el punto óptimo.

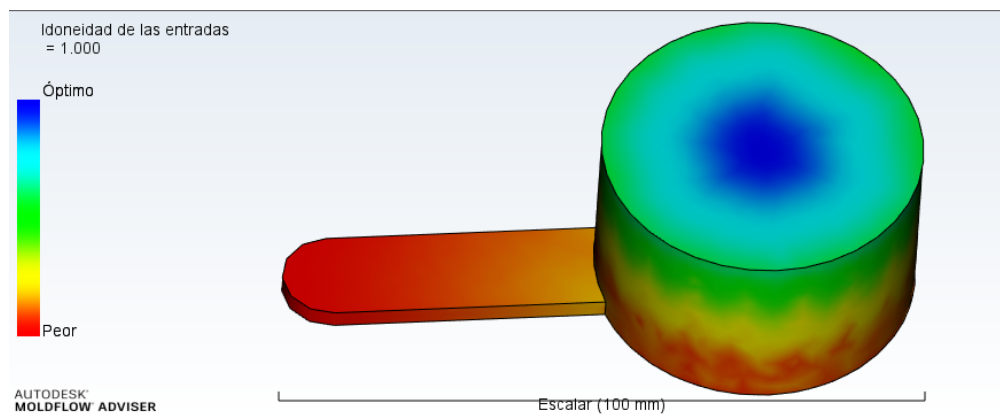


Ilustración 59. Idoneidad de las entradas

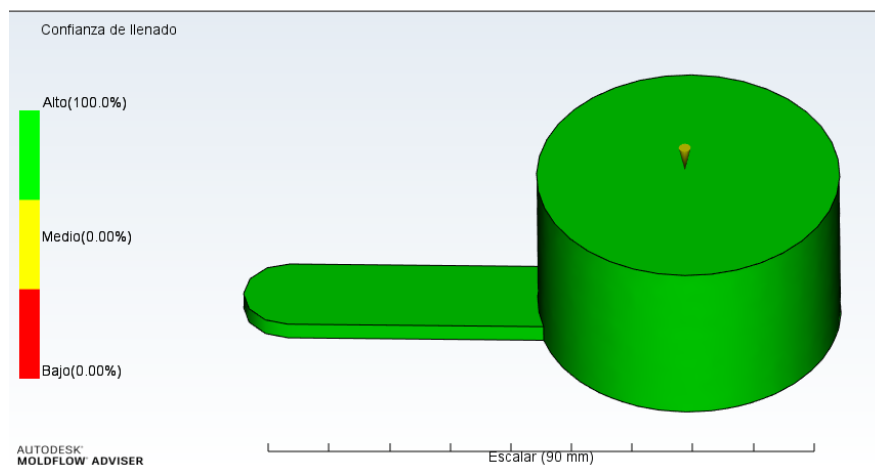


Ilustración 60. Confianza de llenado cuchara

### 4.2.4.2. DISEÑO DEL MOLDE

Si el molde de la llave estaba compuesto por dos partes con una geometría propia, conviene resaltar que solo se trataba de una simetría.

En este caso cada parte del molde será diferente, ya que es preciso realizar un vaciado. A continuación se muestran los dos moldes.



## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

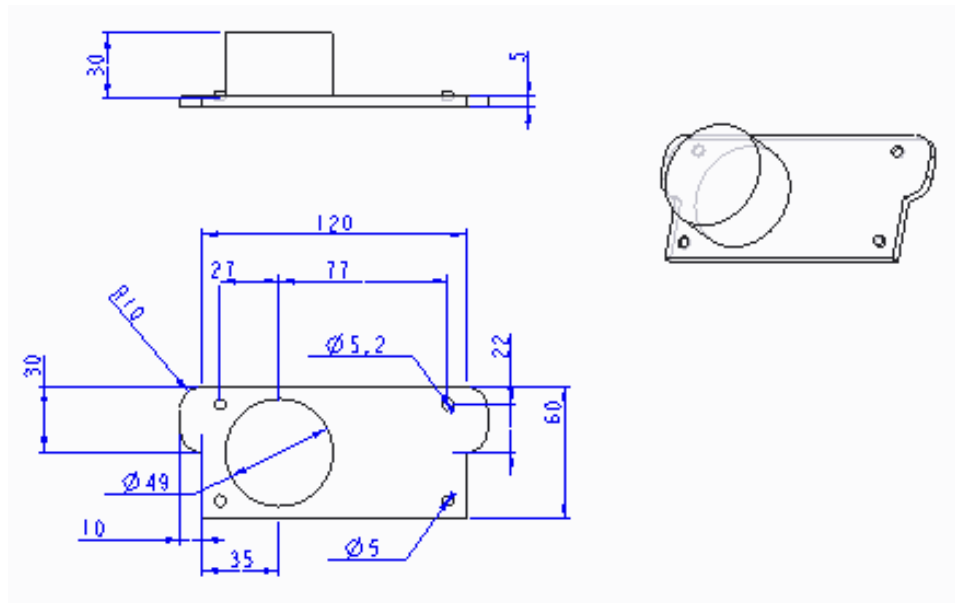


Ilustración 61. Molde cuchara parte inferior

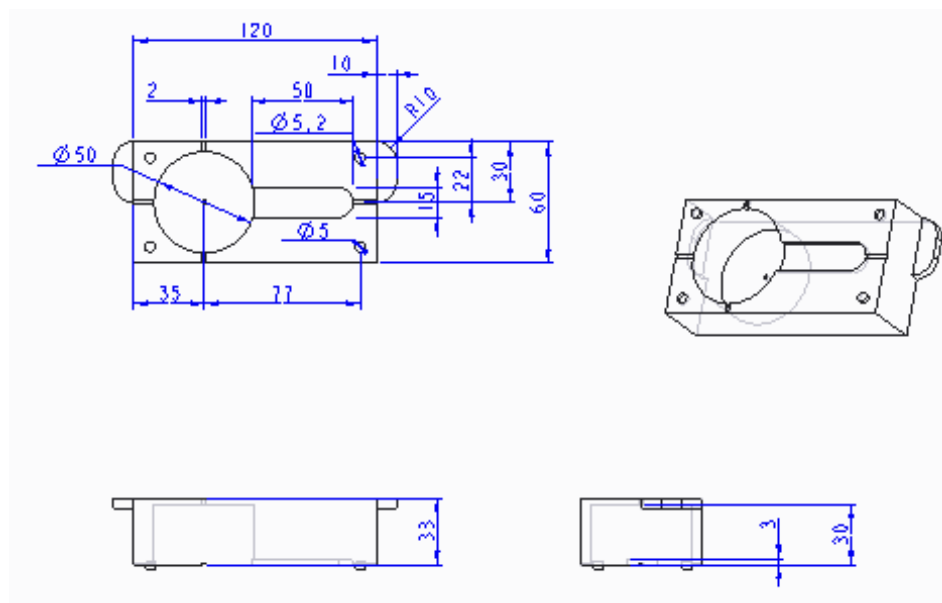


Ilustración 62. Molde cuchara parte superior

En esta ocasión las pestañas que facilitan el desmontaje del molde se han cambiado para facilitar aún más este proceso.

### 4.2.4.3. IMPRESIÓN DEL MOLDE

Gracias al software CURA BCN3D y a la impresora Ultimaker 2+ se obtienen los moldes deseados.

En este caso cada parte tuvo que ser impresa por separado debido al gran volumen que tiene cada una de ellas.

A continuación se muestra el resultado obtenido.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 63. Molde cuchara impreso

### 4.2.4.4. INYECCIÓN DEL MOLDE

La inyección del molde no resulta satisfactoria, ya que al cambiar la posición de la entrada el tronillo de banco no ejerce presión de ajuste entre ambas partes del molde, lo que provoca el levantamiento de la parte superior en la inyección y la no generación de la cuchara.



Ilustración 64. Molde de la cuchara en el tornillo de banco

Tras la inyección el desmolde presenta mucha dificultad y tras dos horas más o menos se consigue desmoldar.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 65. Resultado inyección 1



Ilustración 66. Resultado de la inyección 2

### 4.2.4.5. OBSERVACIONES

Pese al análisis numérico, la inyección no ha sido satisfactoria.

### 4.2.5. MOLDE DE UN PIÑÓN

Siguiendo con la fase de fabricar productos de utilidad se decide diseñar el molde de un piñón.

#### 4.2.5.1. SIMULACIÓN NUMÉRICA

El Moldflow nos recomienda colocar la entrada en el centro del molde.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

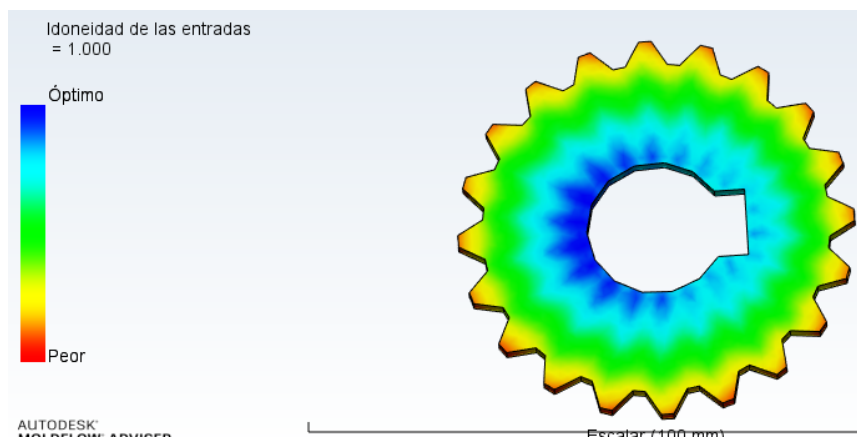


Ilustración 67. Idoneidad de las entradas

Sin embargo, por la facilidad en la inyección con la máquina disponible, y basándonos en la experiencia con el molde de la estrella, se ha decidido colocar el punto de inyección en la parte superior de uno de los dientes. Se ha simulado en Moldflow el llenado colocando esta entrada y el resultado indica que se llevará a cabo un llenado completo y de calidad.

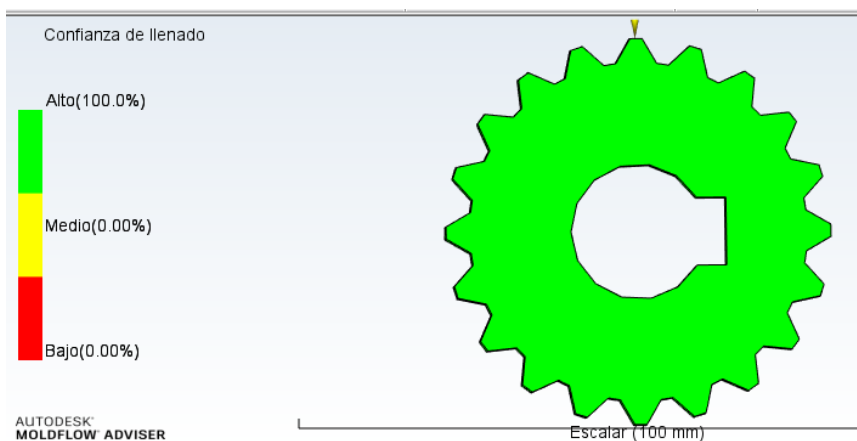


Ilustración 68. Análisis de llenado

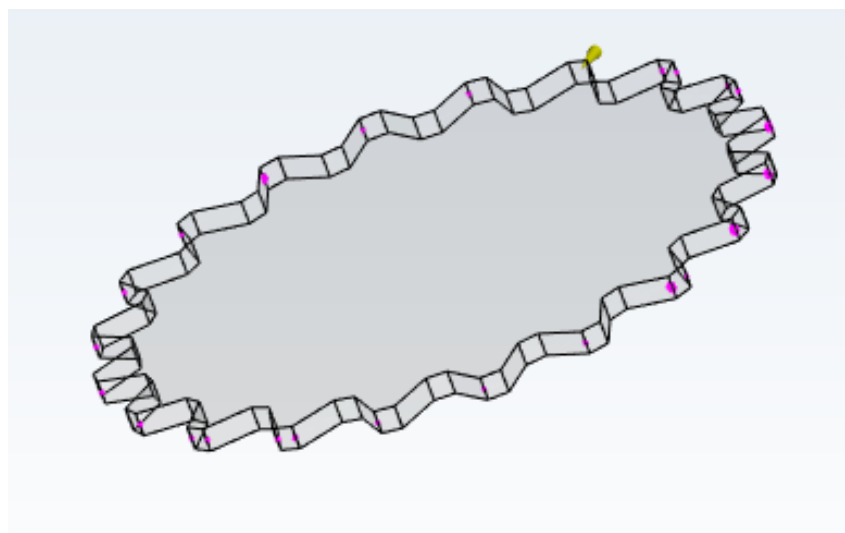


Ilustración 69. Atrapamientos de aire piñón

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

El análisis de atrapamientos de aire indica que en cada uno de los dientes pueden aparecer burbujas, por lo tanto se colocan conductos de ventilación en cada uno de ellos.

### 4.2.5.2. DISEÑO DEL MOLDE

Igual que en todos los diseños anteriores el molde se ha diseñado en el software CREO parametric 2.0

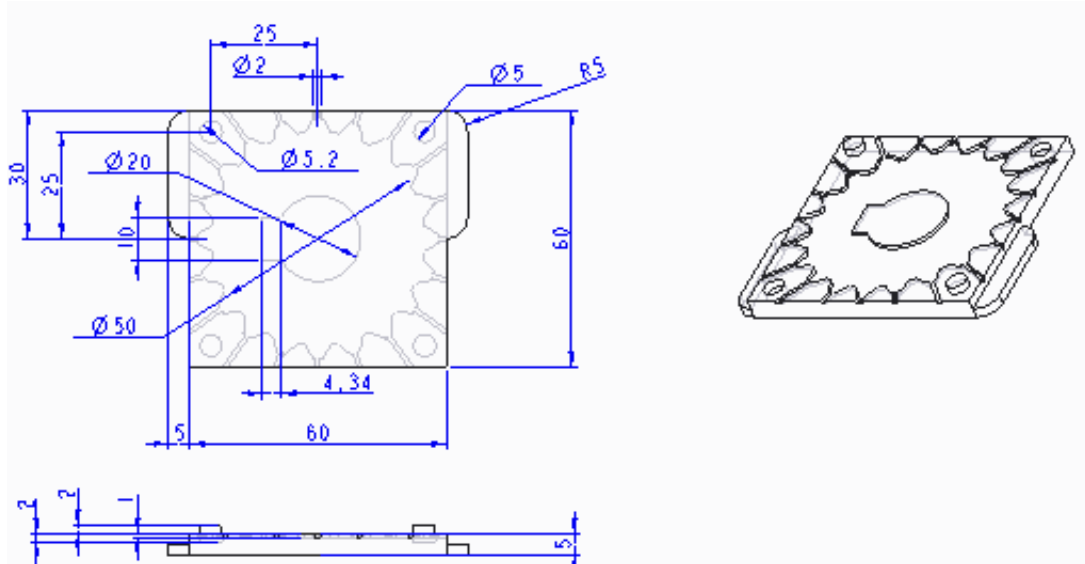


Ilustración 70. Molde piñón

### 4.2.5.3. IMPRESIÓN DEL MOLDE

Como todos los moldes, este ha sido impreso mediante el software CURA BCN3D y la impresora Ultimaker 2+.

En este caso hubo que hacer dos impresiones, pues como ocurrió en la impresión de los moldes para el test de temperatura hubo corrientes de aire que produjeron una impresión defectuosa, esta pieza también presentaba warping igual que las probetas impresas para llevar a cabo los test de temperatura. En este caso fueron determinantes, ya que los tetones que sirven de guía para el encaje de las dos partes no estaban alineados.

En la siguiente figura se muestra el molde final.



Ilustración 71. Molde piñón impreso

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## 4.2.5.4. INYECCIÓN DEL MOLDE

Una vez que la temperatura del calentador es de 220°C y el PP está fundido se procede a la inyección.



Ilustración 72. Visualizador de la temperatura

Como en casos anteriores se fija el molde en el tornillo de banco y para solucionar la falta de apriete en la parte superior se asegura con un sargento tal y como se muestra en la siguiente figura.

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 73. Molde piñón en el momento de la inyección

Tras la inyección y posterior enfriamiento del molde se procede a desmoldar y al postprocesado de la pieza final.



Ilustración 74. Molde piñón abierto

## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



Ilustración 75. Pieza fuera del molde



Ilustración 76. Pieza tras el postprocesado

### 4.2.5.5. OBSERVACIONES

Como era de esperar el resultado ha sido un éxito, ya que esta pieza simplemente era una evolución de la estrella, que ya había sido inyectada con éxito.



## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

### *4.2.6. PRUEBA DE DURABILIDAD DE UN MOLDE IMPRESO EN ABS++*

Para determinar cuántas inyecciones son posibles en los moldes fabricados en ABS++, se lleva a cabo un estudio de durabilidad.

Este estudio ha consistido en inyectar PP en un molde hasta que dicho molde se resienta de alguna manera. Gracias a las simulaciones en el Moldflow podemos prever que la primera zona afectada será el canal de alimentación a la cavidad del molde.

Para el estudio se elige el molde de la estrella.

Tras las tres primeras inyecciones el molde no presentó ninguna deformidad.

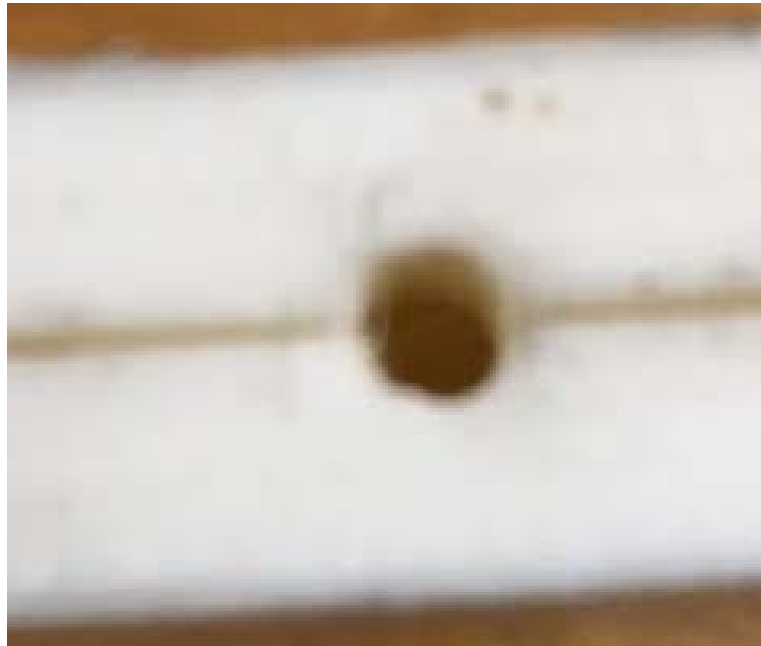
Fue en la cuarta inyección cuando el canal de entrada de material se funde ligeramente, por la larga exposición a una temperatura muy por encima de los 88°C, que es la temperatura de deflexión térmica.



**Ilustración 77. 1 Defecto cuarta inyección**

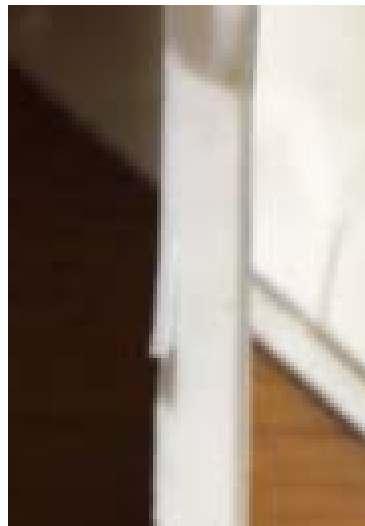
## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---



**Ilustración 78. 2 Defecto cuarta inyección**

Tras la quinta y la sexta inyección no se aprecia ningún cambio. Sin embargo es tras la séptima inyección cuando el molde empieza a resentirse de manera ostensible y se separan las fibras de ABS++ que lo conforman tal y como se muestra en la siguiente imagen.



**Ilustración 79. Defecto séptima inyección**

Tras la séptima inyección se decide no volver a inyectar más, ya que la integridad del molde se está viendo afectada considerablemente.

Por lo tanto podemos determinar que un molde de ABS++ es apto para fabricar siete piezas prototipo de polipropileno sin presentar ninguna deformación. Lo cual es suficiente para evaluar el diseño del molde prototipo.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## 5. CONCLUSIONES

Se puede determinar que este tipo de tecnología es apta para el diseño y fabricación de moldes, ya que como se ha visto en el estado del arte es una tecnología que ya se está utilizando, aunque no es disponible a cualquier usuario, ya que conlleva un elevado coste y la total dependencia de una empresa para llevarla a cabo.

Durante el proyecto se ha demostrado que los moldes pueden ser fabricados en impresoras 3D open source utilizando los recursos disponibles en el área Ur-Maker.

Así que es posible verificar que por medio de la manufactura aditiva empleando impresoras open source de bajo coste y filamento de impresión asequible para cualquier usuario, es posible aplicar la metodología MADMI.

A continuación se muestra una comparación de costes entre la tecnología PolyJet y la tecnología MADMI.

### TECNOLOGIA POLYJET

- Impresora Stratasys: 30000 €
- Filamento específico: 150€

### TECNOLOGIA MADMI

- Impresora Ultimaker 2+: 1850€
- Filamentos FFF world: 17,50€

Además como se demostró en el estudio de durabilidad los moldes impresos con ABS++ en la impresora Ultimaker 2+ son capaces de aguantar hasta 7 inyecciones, igual que los de la tecnología PolyJet.



# ANEXOS

ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE  
MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

## ANEXO 1

### SIMULACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN

A continuación se muestra el proceso para realizar un análisis de llenado o simulación del proceso en el programa Autodesk Moldflow Adviser 2017.

Se va a simular el proceso de llenado de la cuchara dosificadora.

En primer lugar seleccionamos “Abrir proyecto”

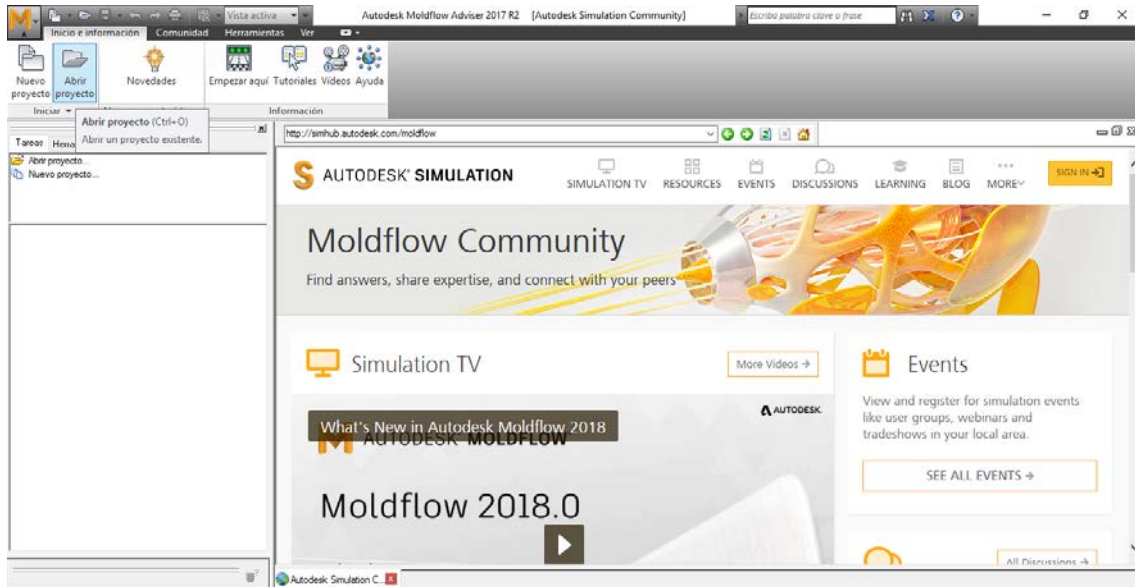


Ilustración 80

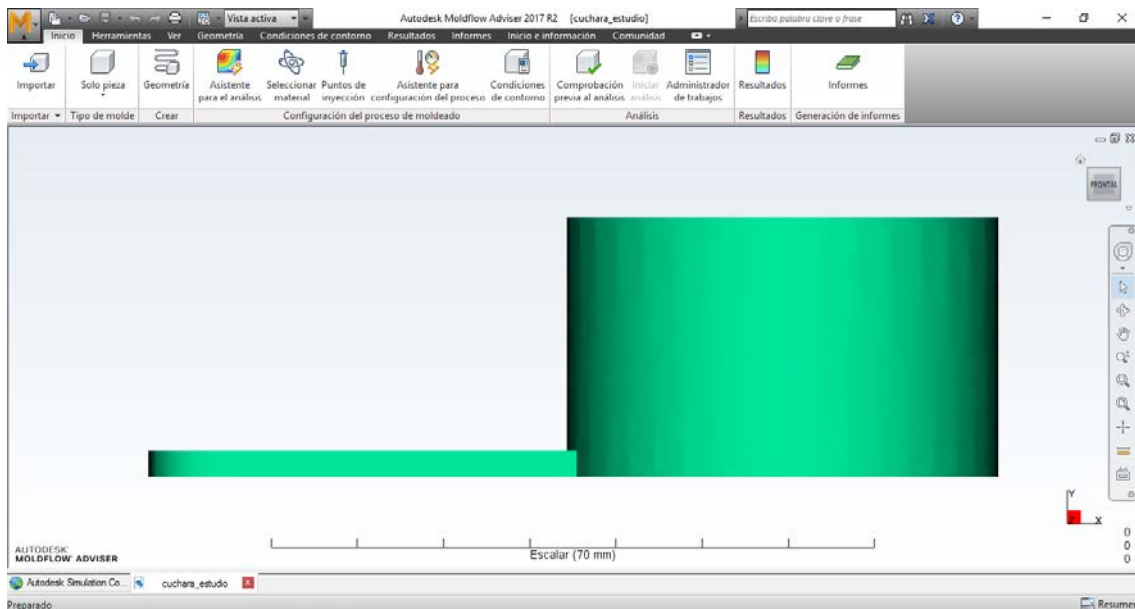


Ilustración 81

Una vez seleccionado el proyecto que se desea analizar abrimos el asistente para el análisis.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

Si el punto de inyección no está determinado se deberá realizar el análisis que determina la posición ideal para el llenado.

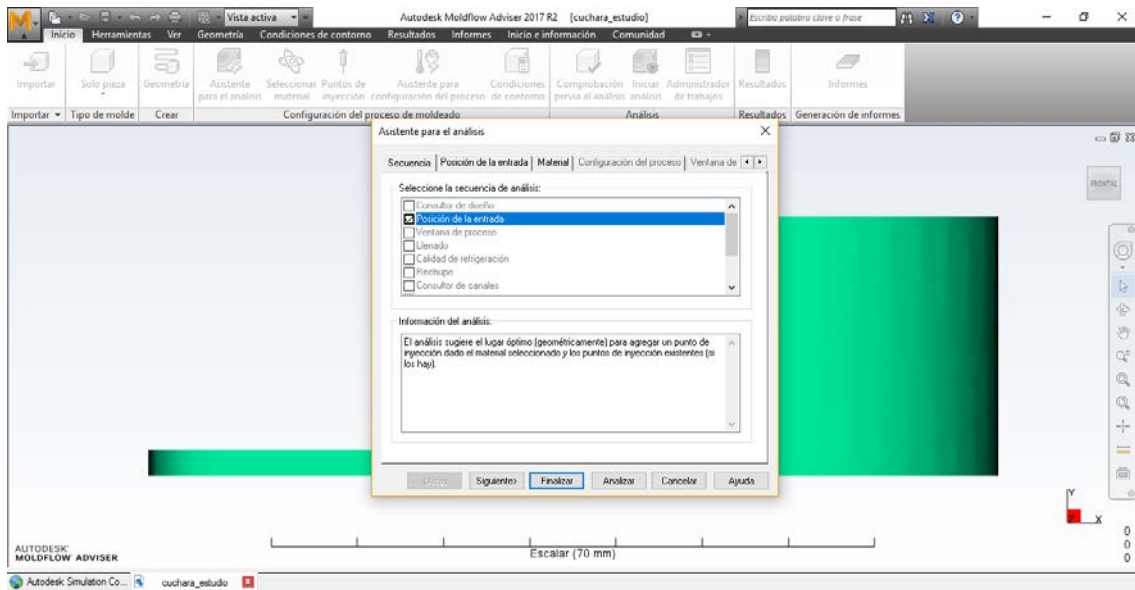


Ilustración 82

En la pestaña posición de entrada se determina el número de entradas que se desean.

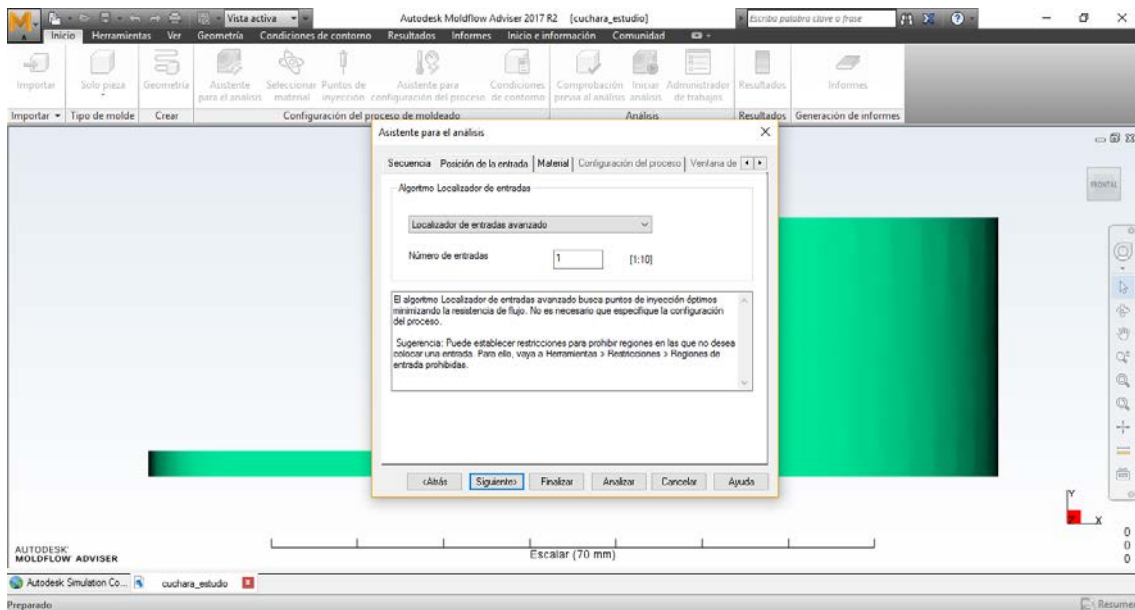


Ilustración 83

El siguiente paso consiste en seleccionar el material con el que se desea inyectar.





# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

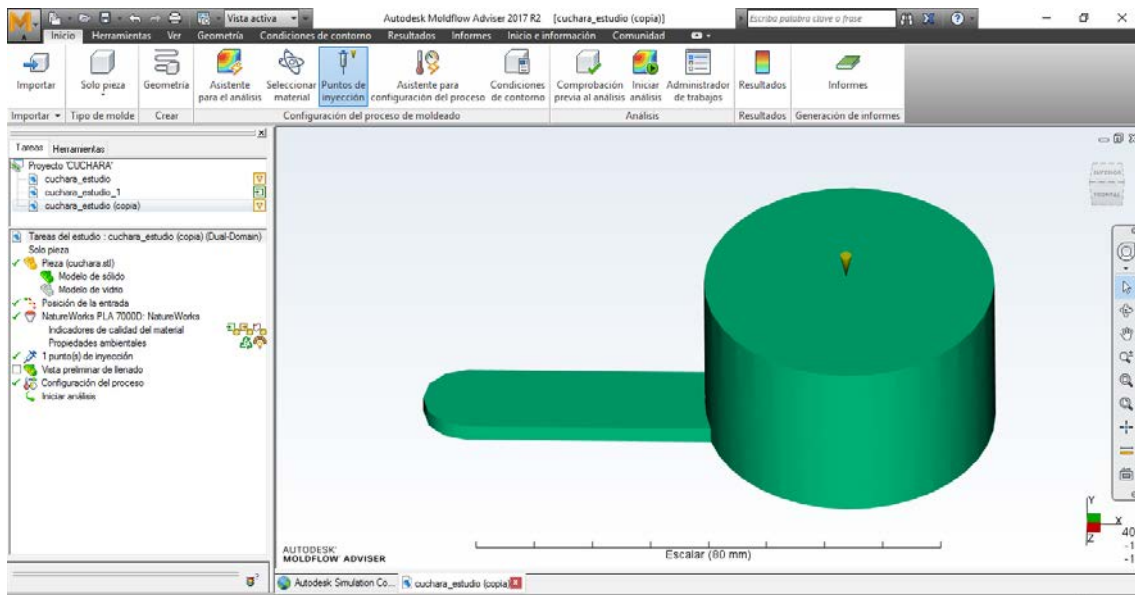


Ilustración 86

Ahora ya se puede llevar a cabo el análisis de llenado. Como anteriormente se selecciona el asistente para el análisis.

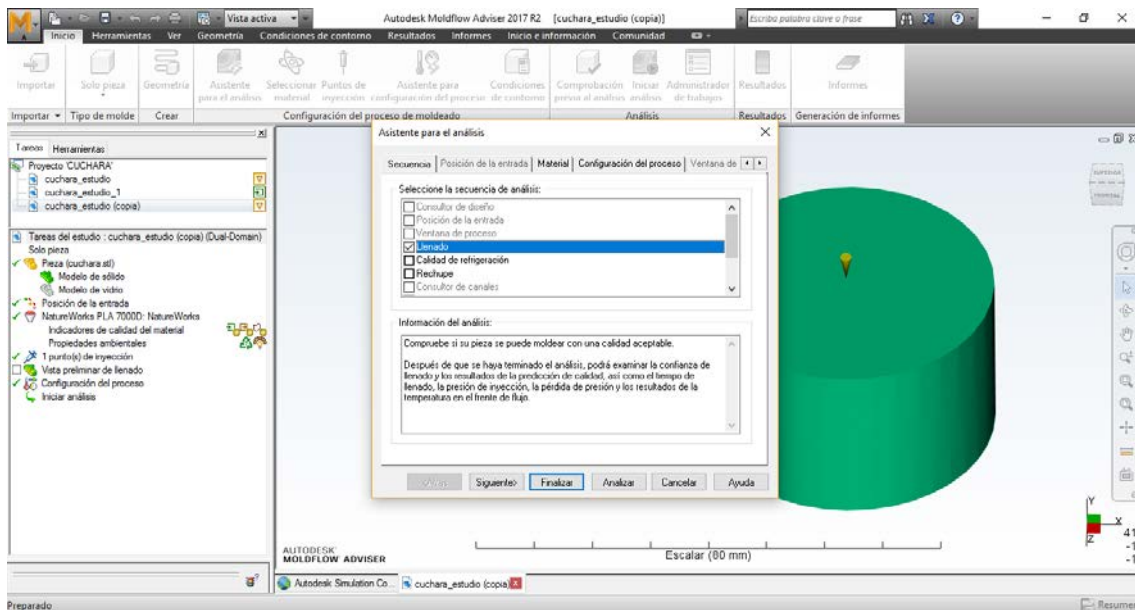


Ilustración 87

Se determina el material

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

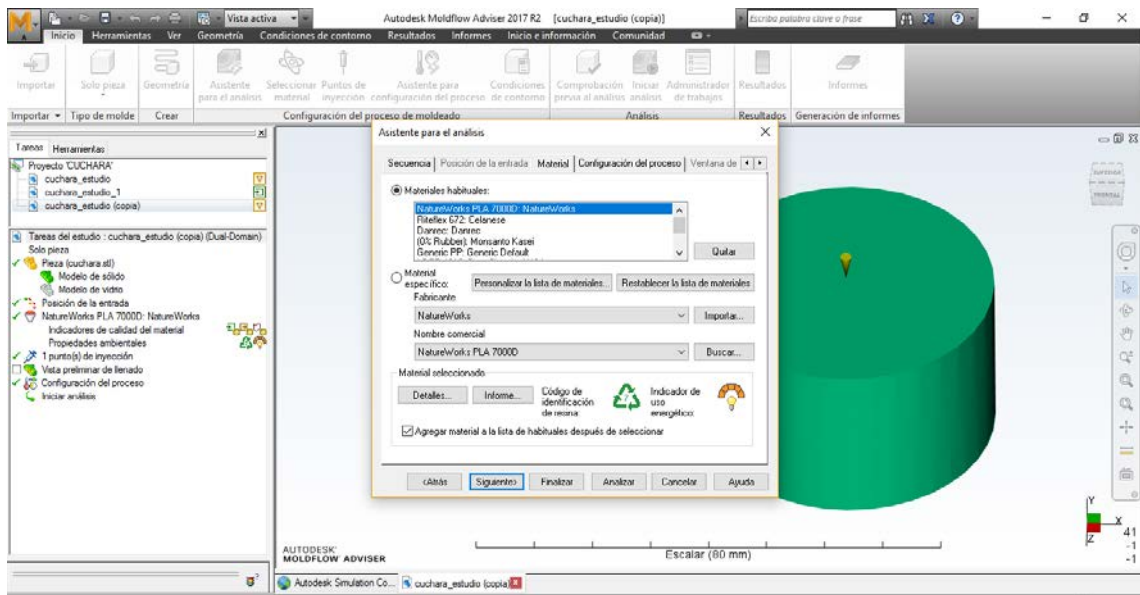


Ilustración 88

Se configura el proceso, en este punto se introduce la temperatura del molde y la temperatura de la masa fundida así como la presión de inyección o el tiempo de inyección

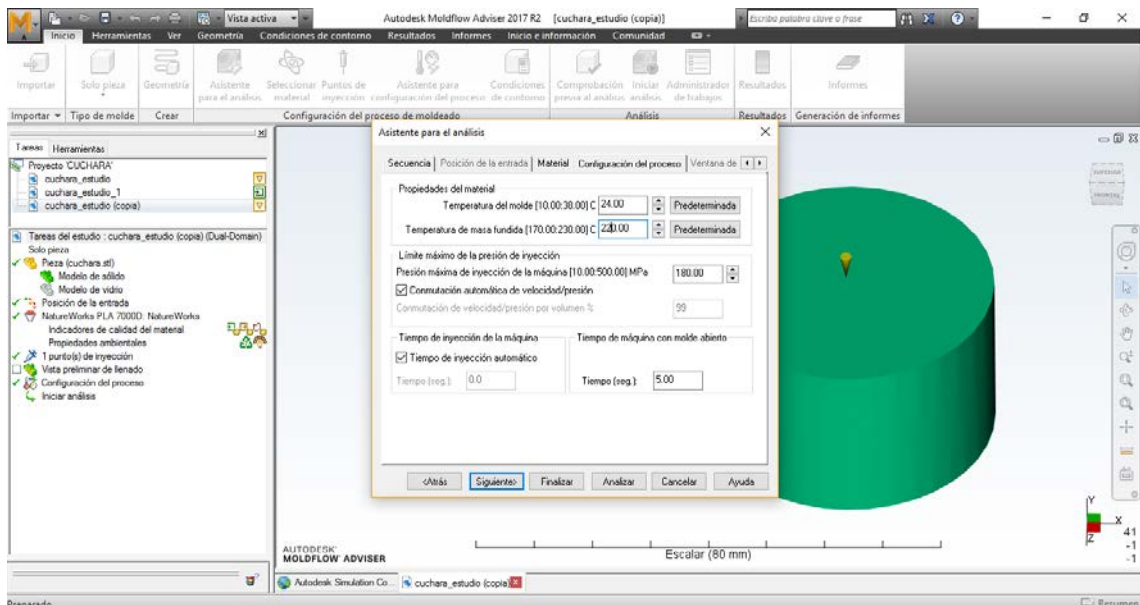


Ilustración 89

El programa muestra los resultados, en este caso el programa vaticina que el llenado es de máxima confianza.

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

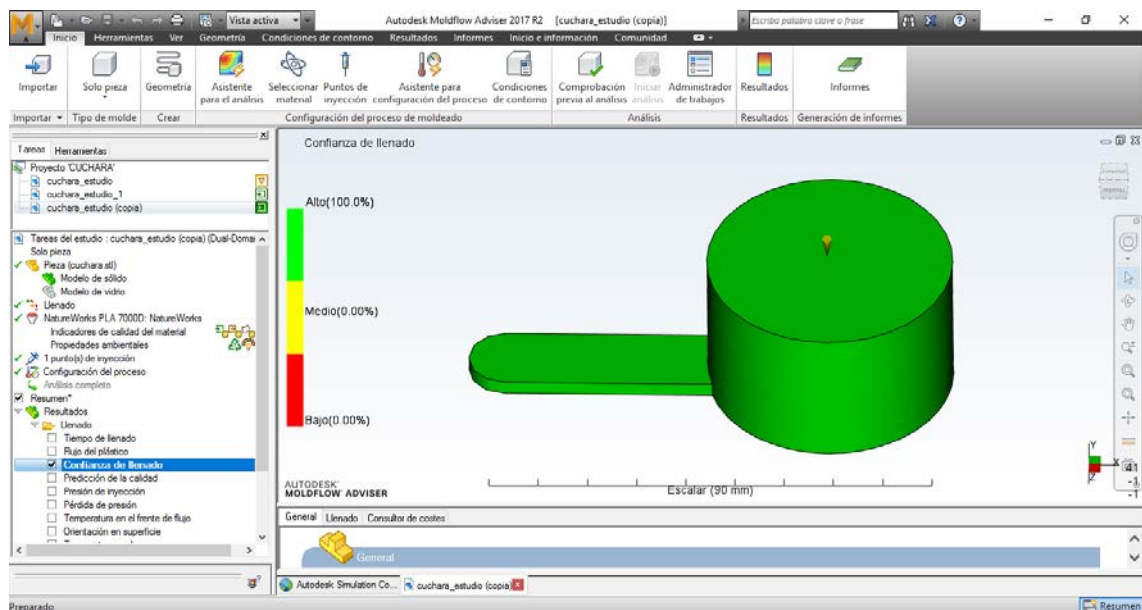


Ilustración 90

Aunque habrá zonas en donde la calidad de llenado sea baja.

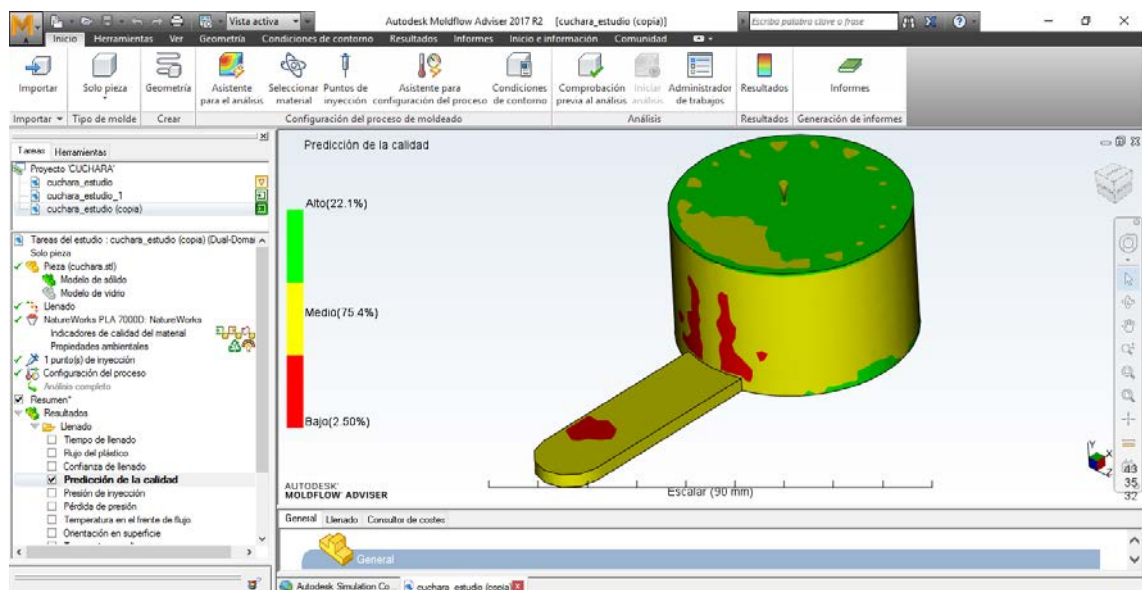


Ilustración 91

Además el software muestra diferentes resultados tales como, tiempo de llenado, flujo del plástico, presión de inyección, pérdida de presión, temperatura en el frente del flujo, orientación en superficie, temperatura media...

# PLANOS

ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE  
MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA



# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## PLANOS

Plano 1: PLANO MOLDE PRUEBA DE TEMPERATURA DIAMETROS

Plano 2: PLANO MOLDE PRUEBA DE TEMPERATURA ESPESORES

Plano 3: PLANO MOLDE MONEDA

Plano 4: PLANO MOLDE ESTRELLA

Plano 5: PLANO MOLDE LLAVE

Plano 6: PLANO MOLDE CUCHARA DOSIFICADORA PARTE INFERIOR

Plano 7: PLANO MOLDE CUCHARA DOSIFICADORA PARTE SUPERIOR

Plano 8: PLANO MOLDE PIÑÓN PARTE SUPERIOR

Plano 9: PLANO MOLDE PIÑÓN PARTE INFERIOR

# ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

## BIBLIOGRAFÍA

<http://www.fffworld.com/es/> [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

<http://www.plasticostecnicos.cat/pdf/productes/es/petg-plastico-tecnico.pdf> [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

<http://techkits.com/collections/pellets/> [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

<http://www.vamptech-iberica.com/pp.php> [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

[https://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno\\_de\\_baja\\_densidad](https://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno_de_baja_densidad) [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/07/polietileno-pe.html> [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

[https://es.wikipedia.org/wiki/Acrilonitrilo\\_butadieno\\_estireno](https://es.wikipedia.org/wiki/Acrilonitrilo_butadieno_estireno) [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

<http://www.vamptech-iberica.com/tpe.php> [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/06/polipropileno.html> [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/06/etilvinilacetato-eva.html> [Fecha de Consulta: 19/10/2016]

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.MOLDEO.POR.INYECCION.pdf> [Fecha de Consulta: 30/11/2016]

INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN. M<sup>a</sup> del Mar Espinosa Escudero. Cuadernos de la UNED. [Fecha de Consulta: 30/11/2016]

<http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/5505-El-aluminio-gana-terreno-en-la-fabricacion-de-moldes.html> [Fecha de Consulta: 06/02/2017]

<http://www.gestiondecompras.com/es/productos/moldes-matrices-y-utilajes/moldes-de-inyeccion> [Fecha de Consulta: 06/02/2017]

<http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/mecanizado> [Fecha de Consulta: 06/02/2017]

<http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc> [Fecha de Consulta: 06/02/2017]

<http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/introduccion-a-la-tecnologia-cnc> [Fecha de Consulta: 06/02/2017]

<https://ciiias.files.wordpress.com/2008/04/boletin-ciiias-31-de-marzo-de-2008.pdf> [Fecha de Consulta: 06/02/2017]

<http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/tipos-de-mecanizado-por-electroerosion> [Fecha de Consulta: 06/02/2017]

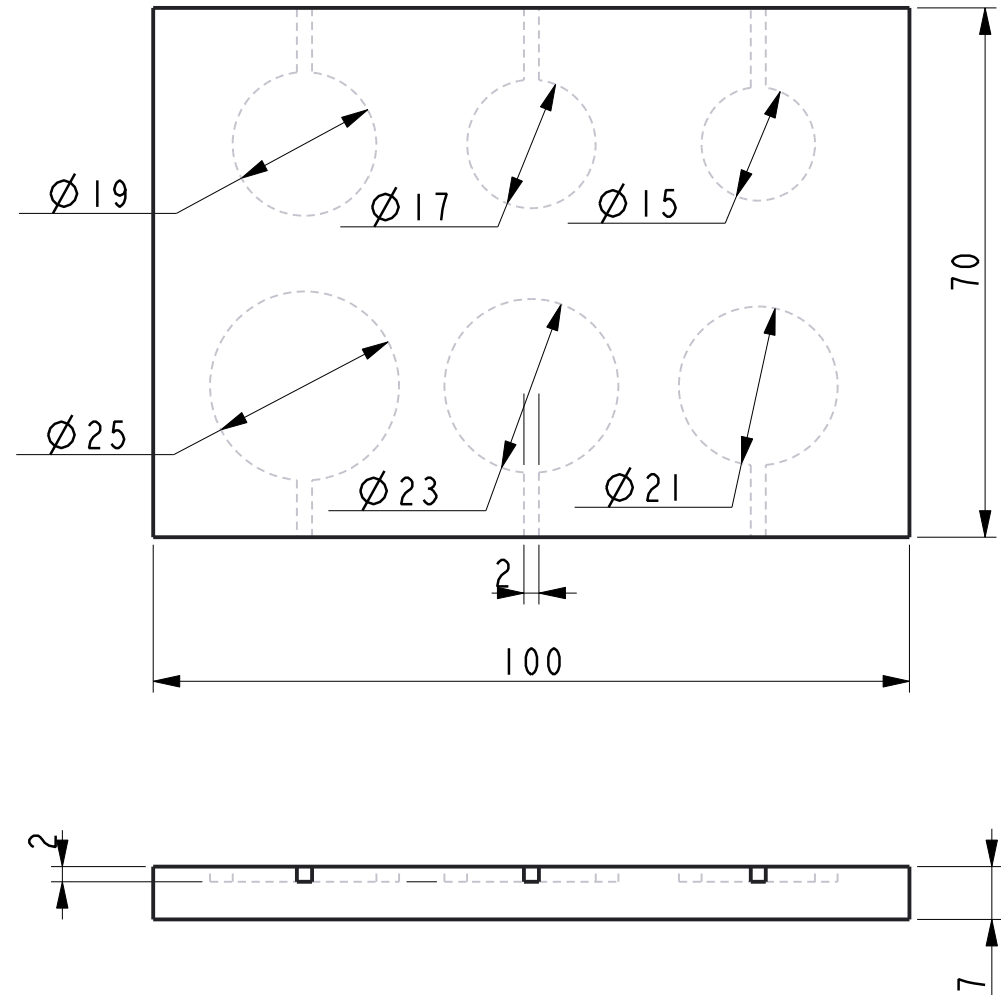
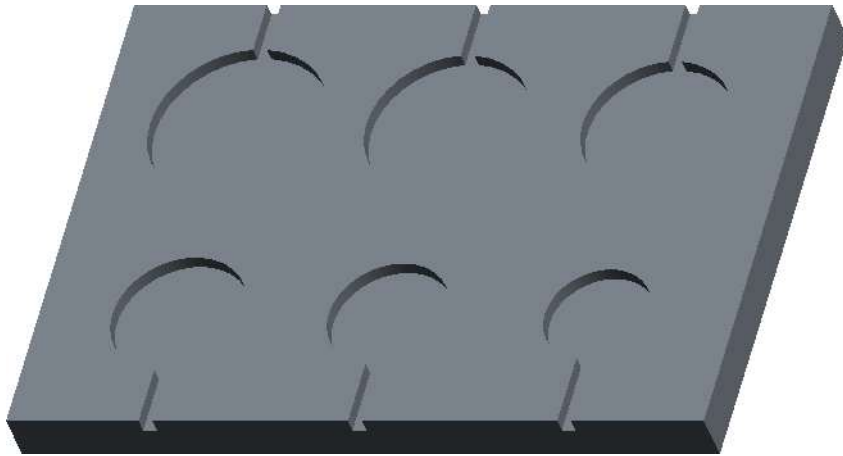
## ACELERACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDES UTILIZANDO MANUFACTURA ADITIVA

---

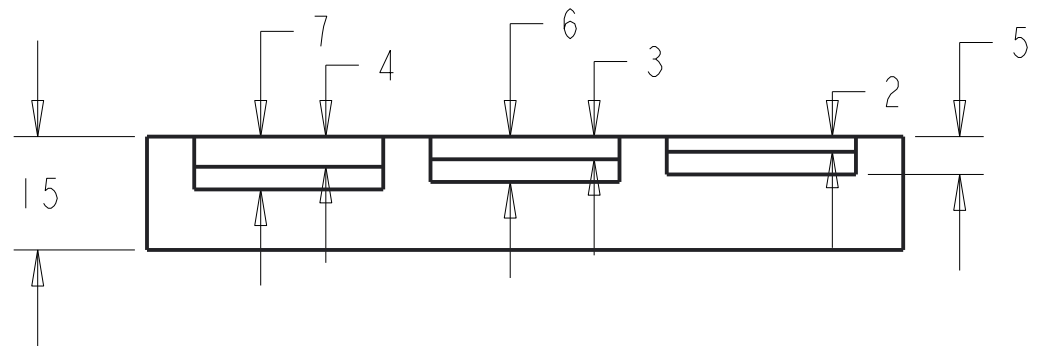
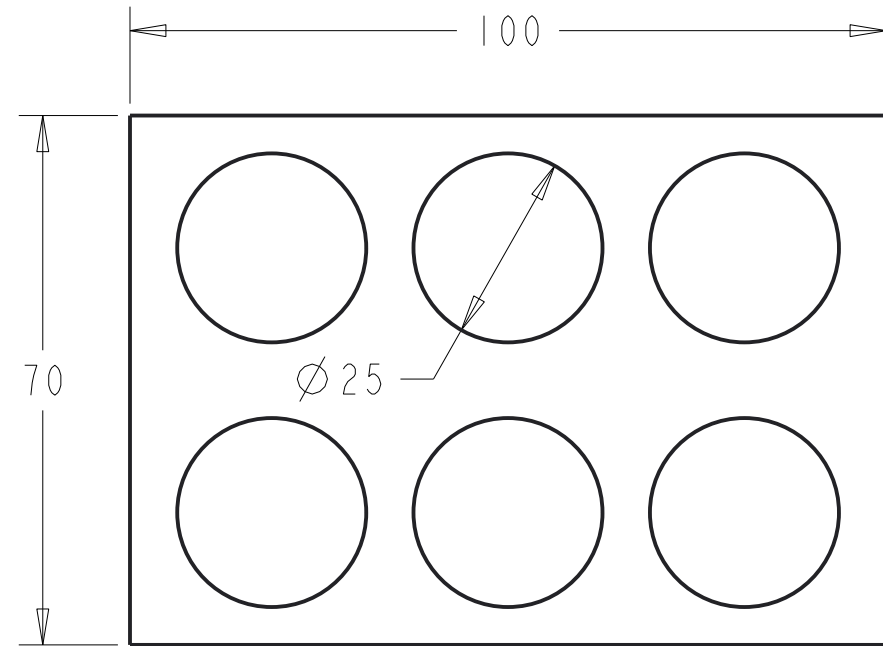
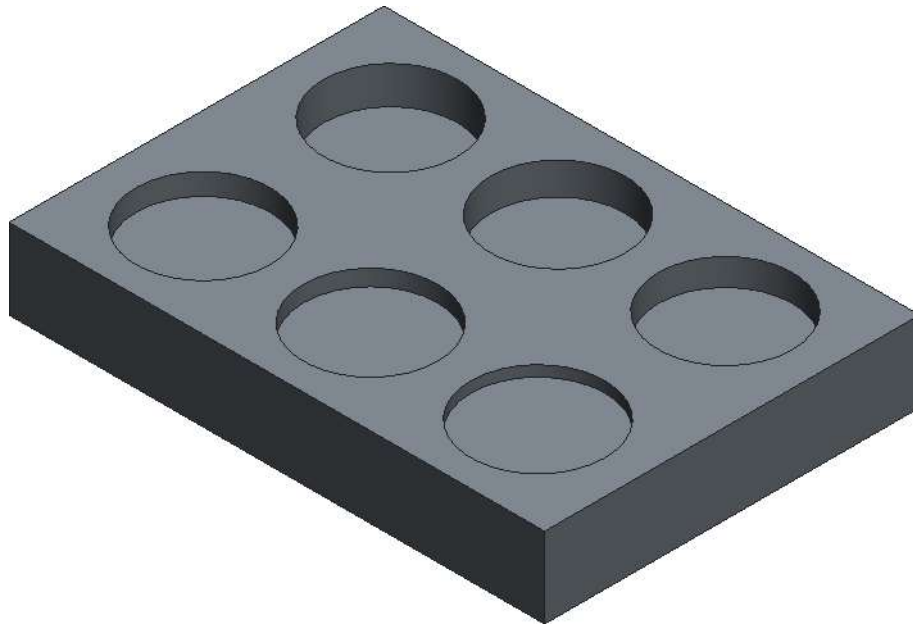
*Stratasy. Choosing the right material for injection molds. 2015. [Fecha de consulta: 21/03/2017].*

*Stratasy. Prototipado de precisión. La función de los moldes impresos en 3D en la industria del moldeo. Año 2013 [Fecha de consulta: 21/03/2017].*

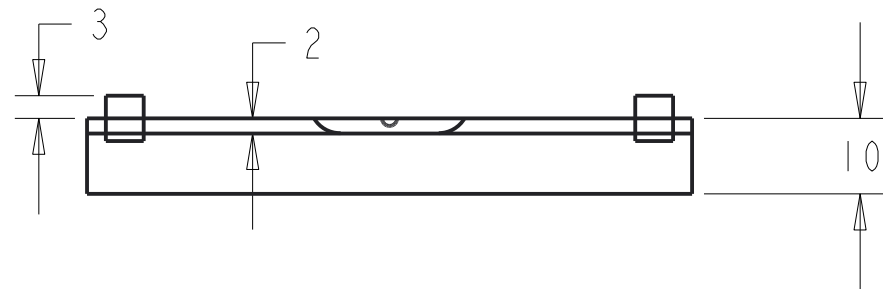
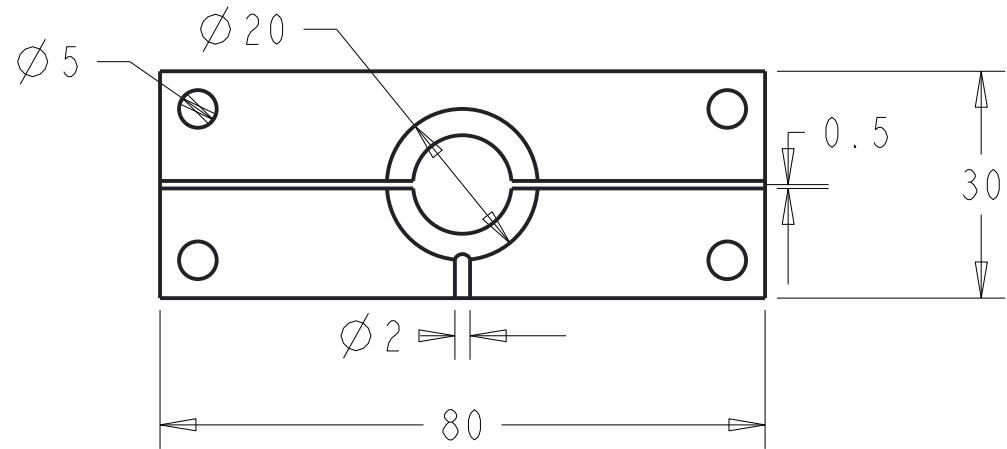
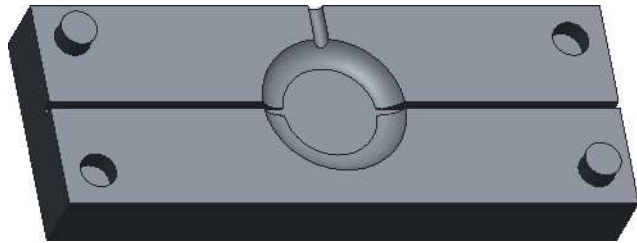




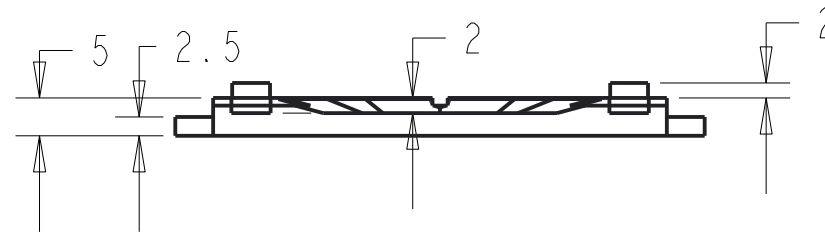
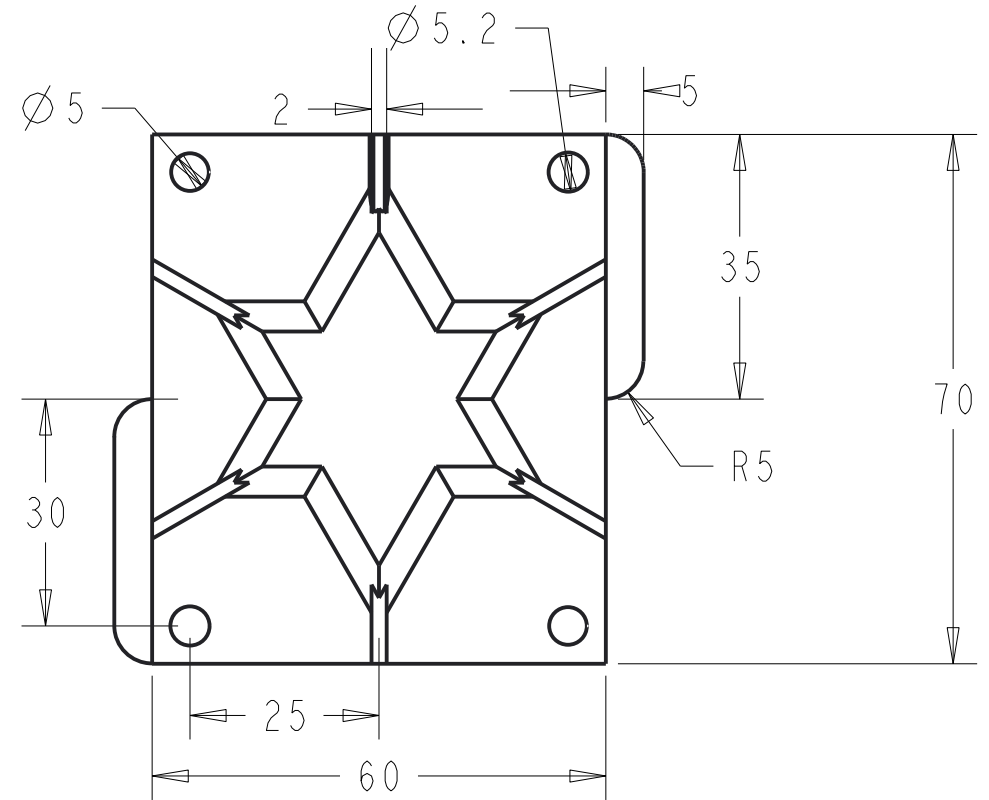
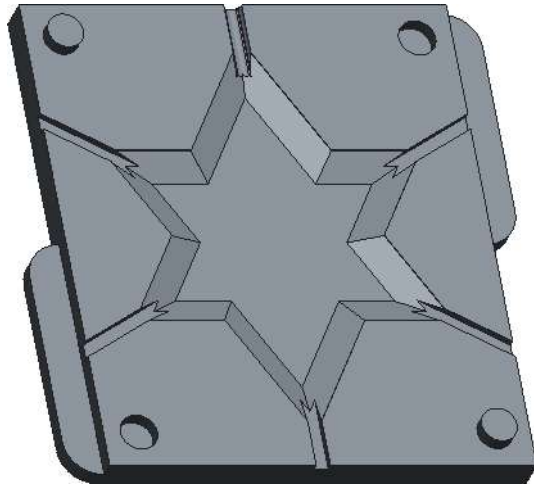
	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA	
Dibujado	26/06/17	ALVARO			
Comprobado					
Escala:	PRUEBAS DIAMETRO				Número: 1
1:1					Sustituye a:
					Sustituido por:



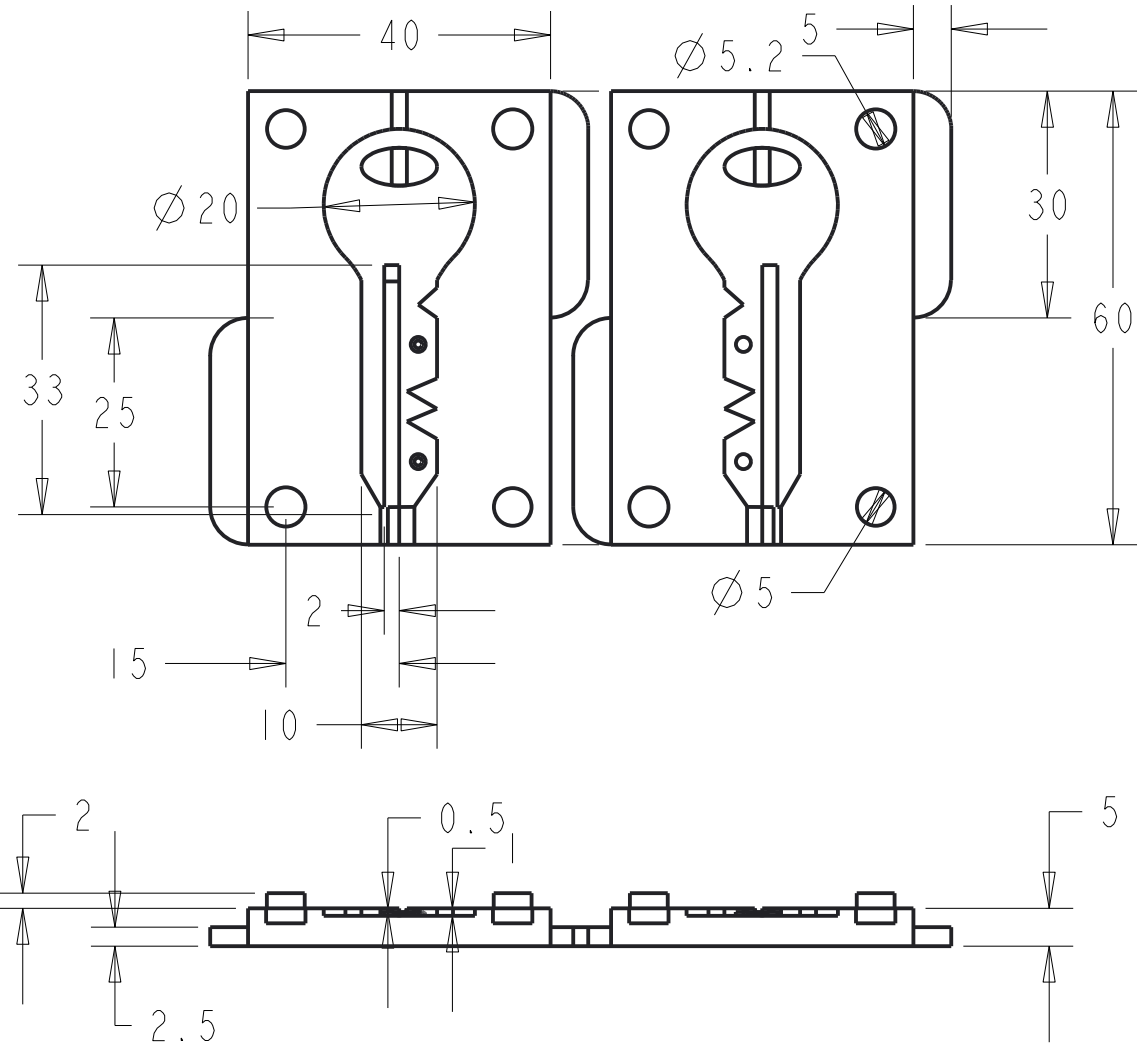
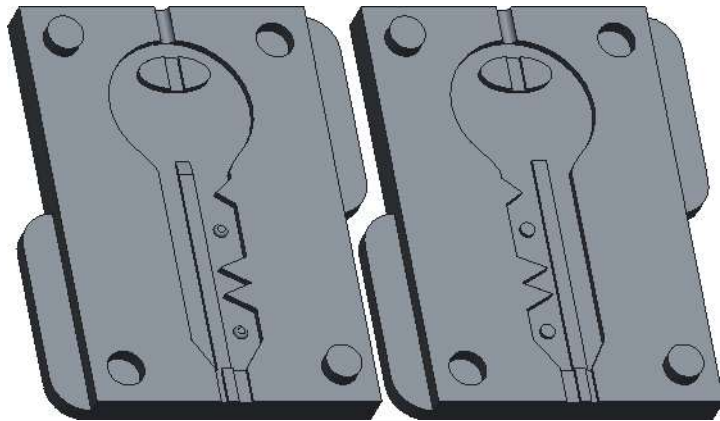
	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	26/06/17	Alvaro		
Comprobado				
Escala:				Número: 2
1:1	PRUEBAS ESPESOR			



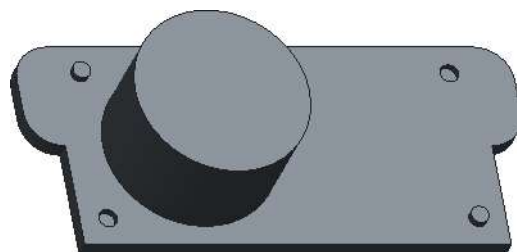
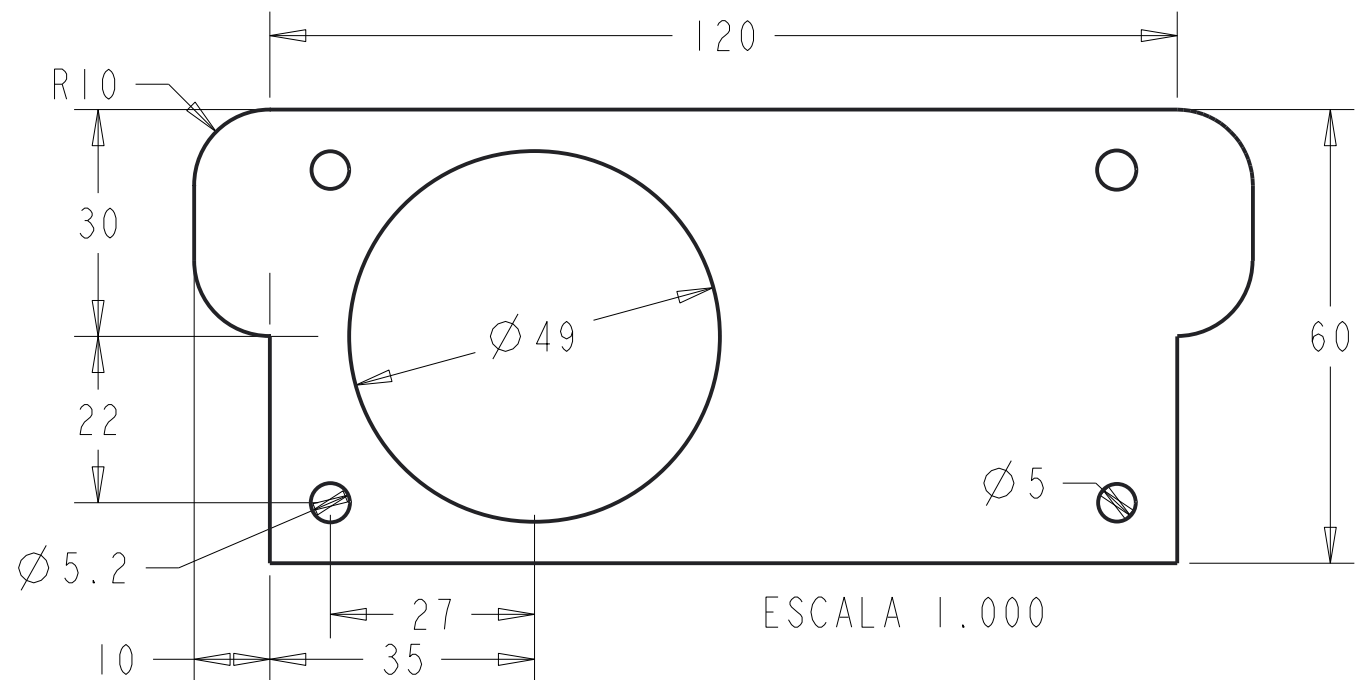
	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	26/06/17	Alvaro		
Comprobado				
Escala:				Numero: 3
1:1	MONEDA			



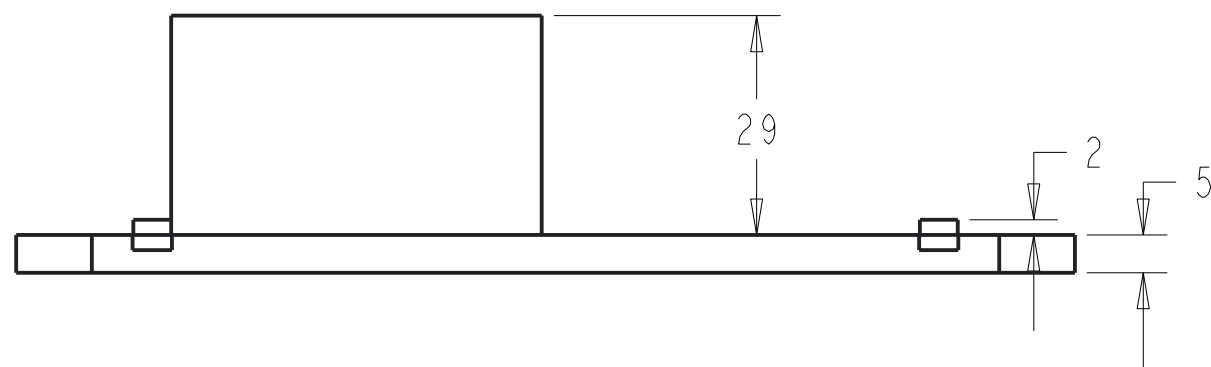
	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	28/06/17	Alvaro		
Comprobado				
Escala:				Numero: 4
1:1	ESTRELLA			



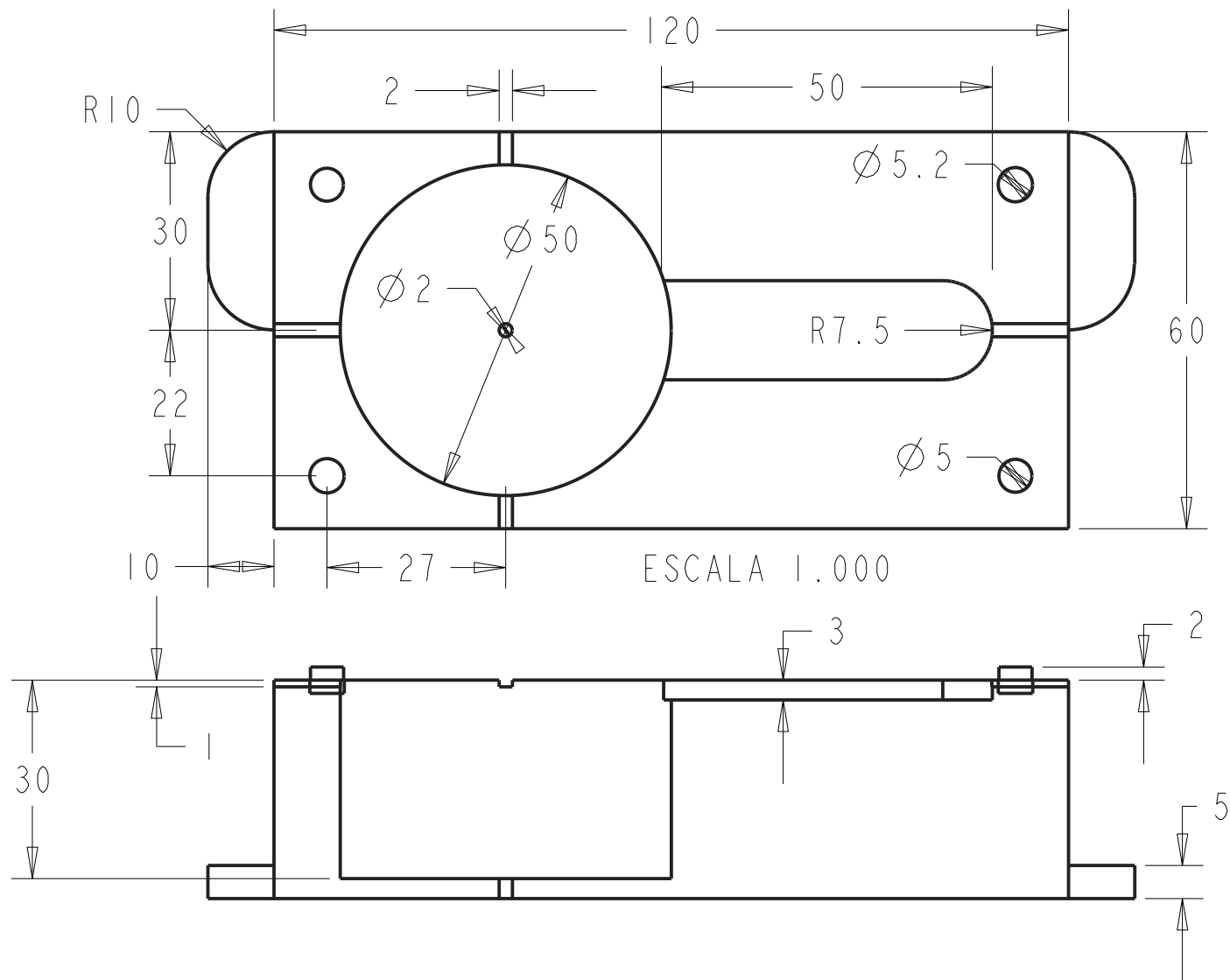
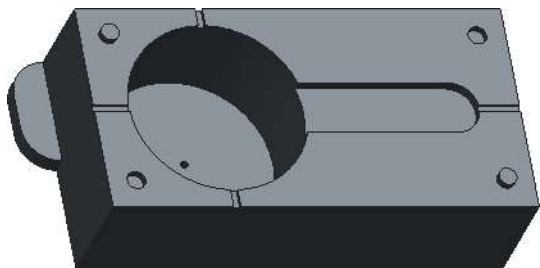
	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	29/06/17	Alvaro		
Comprobado				
Escala:				Numero: 5
1:1	LLAVE			



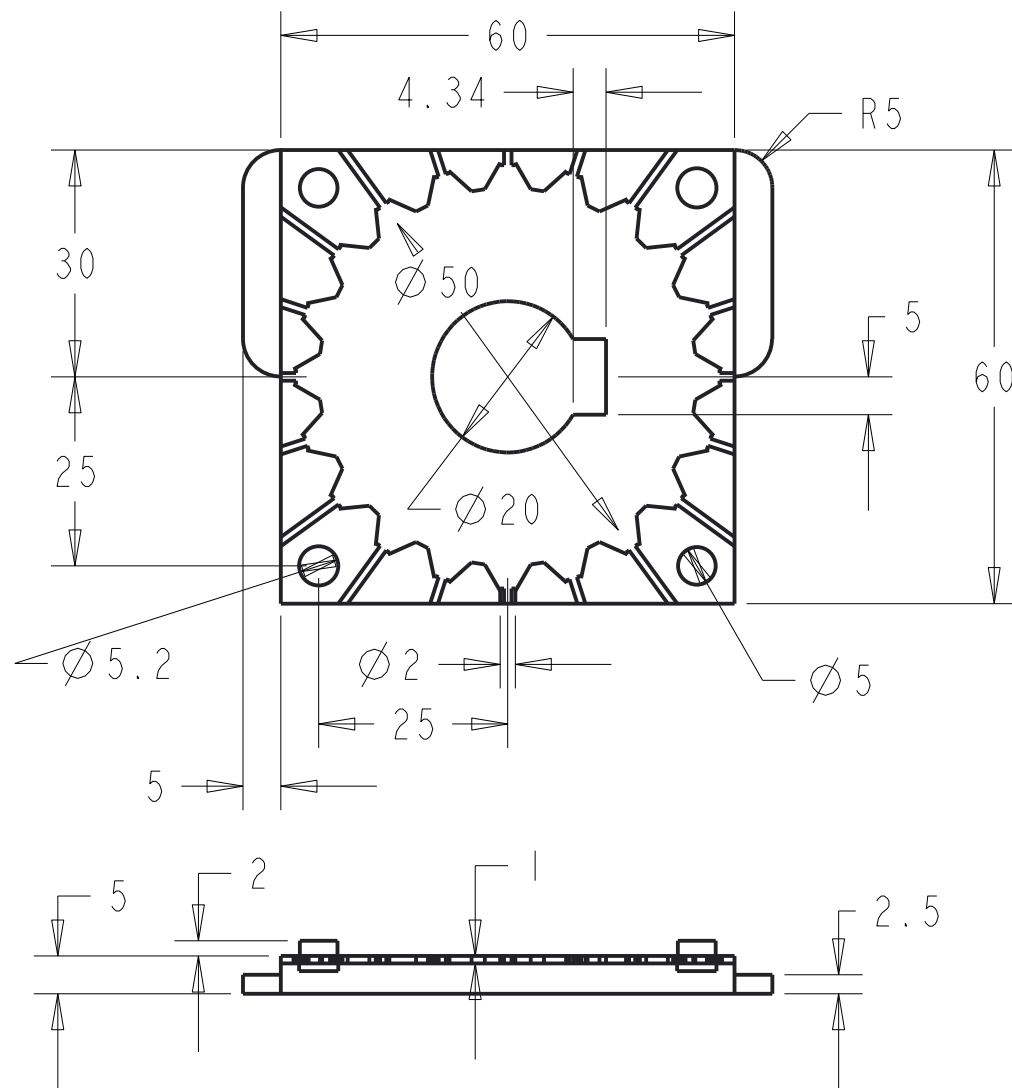
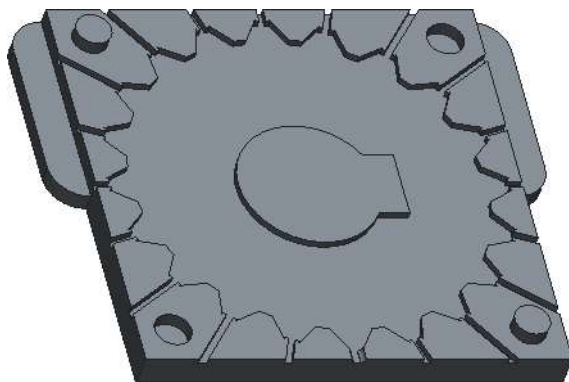
ESCALA 0.500



	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	01/07/17	Alvaro		
Comprobado				
Escala:	CUCHARA PARTE INFERIOR			Numero: 6
1:1				

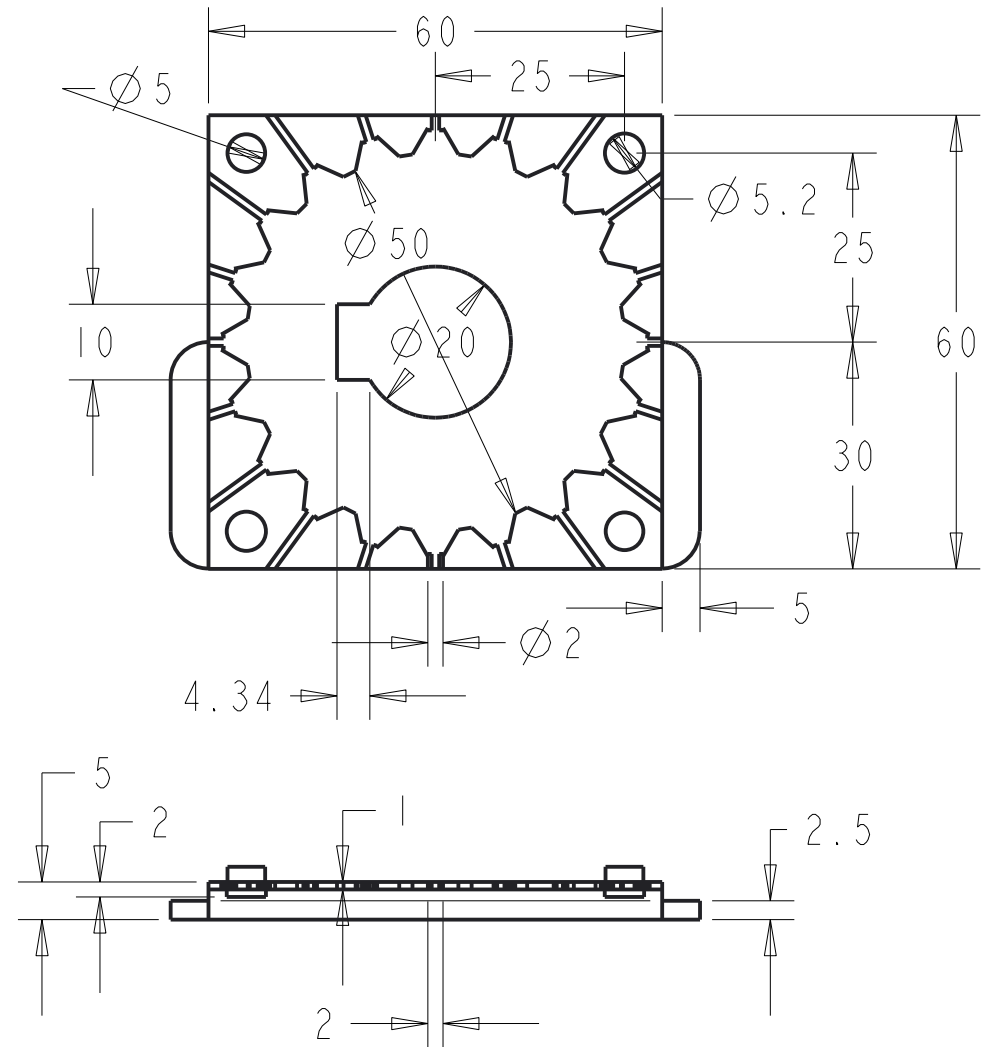


	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	01/07/17	Alvaro		
Comprobado				
Escala:				Numero: 7
1:1	CUCHARA PARTE SUPERIOR			



	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	03/07/17	Alvaro		
Comprobado				
Escala:	PIÑÓN PARTE SUPERIOR			Numero: 9
1:1				





	Fecha	Nombre	Firmas	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	03/07/17	Alvaro		
Comprobado				
Escala:	<div style="text-align: center;"> PIÑON  PARTE INFERIOR </div>			Numero: 8
1:1				